

Tak jako objev parního stroje vyvolal revoluci ve výrobě (proto se období kolem vynálezu parního stroje říká také první průmyslová revoluce), tak v současné době probíhá podobná revoluce, i když ze zcela jiných příčin. Této revoluci se obecně říká vědeckotechnická revoluce a jejím význačným znakem je, že se věda a technika stávají výrobními silami. Vědeckotechnická revoluce má v zásadě dvě stránky – jednak jde o určitý výraz určité úrovně výrobních sil, tj. o kvantitativní změnu vzhledem k dosud existujícím výrobním silám,

robě ještě zcela nedávno. Vědec a jeho práce bylo něco zcela výlučného, něco, s čím běžný občan prakticky nepřišel do styku. V současné době však výsledků vědy a technického vývoje a výzkumu využíváme přímo nebo nepřímo všichni, vědeckotechnický rozvoj zasahuje svými výsledky do života každého z nás, odstraňuje dřinu, úmornou mechanickou práci, nahrazuje staré materiály novými s lepšími vlastnostmi, a vůbec nejvíce se snad projevuje v elektrotechnice a v elektronice. Tranzistory, integrované obvody, počítače, barevná te-

## Vědeckotechnický pokrok

a jednak o určitý pohyb v celospolečenské struktuře, o kvalitativní změnu, neboť se proti minulosti modifikují výrobní vztahy. Někdy se také označuje vědeckotechnická revoluce jako druhá průmyslová revoluce; to je ovšem poněkud zúžený pohled na celou problematiku, kterou vědeckotechnická revoluce přináší, neboť tento název postihuje jen jednu stránku vědeckotechnické revoluce, kterou můžeme stručně označit jako vědeckotechnický rozvoj.

Vědeckotechnický rozvoj, tj. změny, k nimž došlo ve vědě a v technice v poslední době, jsou však patrné na první pohled. Stačí vzpomenout si na stav a úroveň vědy a techniky ve vztahu k vý-

levize, nové způsoby a druhy spojení, kosmické lety atd. – to vše jsou produkty nastupující vědeckotechnické revoluce.

Od nás, uživatelů vymožeností vědeckotechnického pokroku, vyžaduje „nová doba nové činy“, musíme se snažit rozumět (nebo alespoň pochopit) všemu tomu, co je nové a co dosud neznáme a to především proto, že jen tehdy budeme schopni všech vymožeností využívat. Není to sice lehký úkol, avšak je to nezbytnost, chceme-li si najít své místo v soudobé společnosti, chceme-li i my pomáhat sobě i jiným žít plně a spokojeně a budovat svět bez válek a nedostatku.

# Elektrochemické ● zdroje proudu ●

Ing. Miroslav Arendáš

Elektrochemie je velmi zajímavý obor techniky, na jehož rozvoj se vynakládají na celém světě velmi značné prostředky. Vynucují si to zejména potřeby moderní elektroniky a rozvoj automobilismu.

V elektronice se zaváděním nových aktivních prvků spotřeba elektrické energie stále zmenšuje. Zavedením tranzistorů a integrovaných obvodů začal před lety prudký rozvoj výroby přenosných rozhlasových přijímačů, magnetofonů, televizorů, měřicích přístrojů, kalkulaček, hodin, hraček a dalších přístrojů a zařízení, které jsou napájeny malým „mobilním“ elektrochemickým zdrojem energie.

Tak jako v jiných oborech ani v elektrochemii se nesplnily některé z předpovědí odborníků z doby asi tak před 15 až 20 lety. Velké naděje se totiž vkládaly do palivových, rtuťových, stříbrozinkových a jiných článků. Podíváme-li se na dnešní stav výroby elektrochemických zdrojů, vedou v korunovém objemu výroby (mezi malými články a elektrochemickými zdroji energie) údajně kdysi málo perspektivní burelosalmiakové články. I když se slovo fantastický do technické publikace nehodí, nelze jinak, než označit trvalé zvětšování jejich výroby za fantasticky prudké. U nás se např. v roce 1947 vyrobilo těchto článků za 27 mil. Kčs, v roce 1963 za 53 mil. Kčs a v roce 1969 již za 86 mil. Kčs a tento trend v současné době pokračuje. Světový vývoj je podobný, např. v USA se v roce 1947 vyrobilo za 85 mil. dolarů burelosalmiakových článků, v roce 1963 za 195 mil. dolarů a v roce

1969 již za 600 mil. dolarů. Podobně (i když ne tak prudce) se zvětšuje výroba i u niklokadmiových pouzdřených článků.

Z rozměrově větších elektrochemických zdrojů se vlivem rozvoje automobilismu prudce zvětšila a zvětšuje výroba startovacích olověných akumulátorů. Svoji pozici si udržuje též niklokadmiový akumulátor (alkalický), který nahradil dříve vyráběný nikloocelový (NiFe) akumulátor. Ostatní druhy akumulátorů nemohou zatím svým objemem výroby uvedeným druhům konkurovat.

My se jako spotřebitelé setkáváme nejčastěji s burelosalmiakovými články a vlastníme-li automobil, i s olověným startovacím akumulátorem. Protože články do přijímačů, magnetofonů a dalších spotřebičů nevyžadují žádnou zvláštní údržbu a dobu jejich života nijak podstatně nemůžeme ovlivnit, zaměříme se na olověné akumulátory – nejprve si probereme (po všeobecném úvodu) trochu nejnutnější teorie o nejpoužívanějších akumulátorech v rozsahu amatérského použití, dále si povíme o údržbě a správném nabíjení a konečně uvedeme praktické návody na stavbu různých typů nabíječek.

## Hlavní pojmy z elektrochemie

**Akumulátor** – sekundární elektrochemický zdroj stejnosměrného proudu. Má schopnost hromadit energii stejnosměrného elektrického proudu a tu zpětným elektrochemickým pochodem vrátit (vydat), přičemž proud teče obráceným směrem, než jakým tekla při přivádění energie.

*Akumulátorový článek* – je nejmenší jednotka akumulátoru. Skládá se z kladných a záporných elektrod, z částí nutných k sestavení, ze separátorů, elektrolytu a článkové nádoby.

*Akumulátorová baterie* – je sestava akumulátorových článků (popř. akumulátorů) spojených spojkami zpravidla do série.

*Sada desek* – vodivě paralelně spojené elektrody stejné polaritý, umístěné v jednom akumulátorovém článku.

*Separátor* – nevodivý, elektrolyt propouštějící izolátor, oddělující elektrody (desky) nestejné polaritý v jednom akumulátorovém článku. Udrží zpravidla i stejnou rozteč mezi elektrodami. Separátory jsou z materiálů nerozpustných v elektrolytu, mají obvykle tvar desek nebo „kapes“ v jedné nebo více vrstvách. K jejich výrobě se používají např. PVC, impregnovaná papírovina, polyetylenová rohož, celofán, polyamidová tkanina apod.

*Kapacita (akumulátoru)* – je odebrané množství elektrické energie z akumulátoru v ampérhodinách. Označuje se  $C$  nebo  $K$ . Jde o značně proměnnou veličinu, závislou podle typu akumulátoru více nebo méně na: velikosti vybíjecího proudu, hustotě a teplotě elektrolytu, stavu a stáří akumulátoru. Údaj udávaný výrobcem je minimální zaručená kapacita za daných provozních podmínek.

*Jmenovitá kapacita* – je množství energie, které je článek (nebo baterie) schopen odevzdat za stanovených podmínek nabíjení a vybíjení. Protože je kapacita závislá na vybíjecí době, je údaj obvykle doplňován indexem, který určuje vybíjecí dobu. Dělíme-li tímto indexem jmenovitou kapacitu, obdržíme jako výsledek jmenovitý vybíjecí proud pro danou kapacitu. Příklad: jmenovitá kapacita po dvacet hodin je  $100 \text{ Ah} = C_{20}$ . Odpovídající vybíjecí proud  $I = 100/20 = 5 \text{ A}$ . Jmenovitou kapacitu u akumulátoru uvádějí všichni výrobci, kteří jsou vázáni normami ČSN a mezinárodními doporučeními.

*Nabíjení* – je přeměna elektrické energie na chemickou proudem, tekoucím akumulátorem určitým směrem.

*Formování* – je elektrochemický pochod k vytvoření aktivní hmoty na deskách. Formování probíhá obvykle jako součást výroby akumulátoru.

*První nabíjení* – je nabíjení akumulátoru po jeho naplnění elektrolytem. K prvnímu nabíjení dodává zpravidla výrobce určitá doporučení. Toto první nabíjení se někdy nesprávně označuje jako formování nebo formovací nabíjení.

*Nabíječ* – je přístroj, určený k nabíjení článků nebo baterií.

*Plné nabití* – je stav, při němž se dosáhlo plné kapacity akumulátoru. Stručně lze poznamenat, že olovené akumulátory jsou nabity, nezvětšuje-li se při nabíjení dále jejich napětí a hustota elektrolytu. Niklokadmiové akumulátory jsou plně nabity, bylo-li do nich přivedeno příslušné množství proudu, stříbrozinkové jsou plně nabity, zvětší-li se napětí na jejich svorkách při nabíjení na 2,1 V na článek.

*Přebíjení akumulátorů* – je nabíjení po dosažení stavu plného nabití.

*Dobíjení* – je občasné nabíjení k doplnění energie na plné nabití.

*Trvalé (konzervační) nabíjení* – je nepřetržité nabíjení proudem, určeným k vyrovnání ztrát vznikajících samovolným vybíjením.

*Průběh nabíjení* – je časový průběh napětí a proudu během nabíjení baterie nebo článku.

*Nabíjecí charakteristika* – je závislost svorkového napětí akumulátoru na době nabíjení; nabíjecí proud bývá obvykle konstantní.

*Jmenovité napětí* – je určitá střední hodnota vybíjecího napětí článku. U oloveného akumulátorového článku je to 2 V, u niklokadmiového 1,2 V, u stříbrozinkového 1,5 V. Jmenovité napětí akumulátorové baterie je součinem počtu článků a jejich jmenovitých napětí.

*Účinnost ampérhodinová (proudová)* je poměr z akumulátoru odebraných ampérhodin do konečného vybíjecího napětí k ampérhodinám, potřebným k úplnému nabití. Zpravidla musí být ještě stanoveny podmínky nabíjení a vybíjení.

*Účinnost watthodinová (pracovní)* – je poměr energie ve watthodinách ze článku nebo baterie odebrané do konečného vybíjecího napětí k energii ve watthodinách, potřebné k úplnému nabití.

*Nabíjecí součinitel* – je převratná hodnota ampérhodinové účinnosti.

*Vybíjení* – je zpětná přeměna chemické energie na elektrickou, přičemž směr proudu je opačný než při nabíjení.

*Konečné vybíjecí napětí* – je výrobcem stanovené napětí, pod něž se nesmí akumulátor dále vybíjet.

*Jmenovitý vybíjecí proud* – je výrobcem uvedený proud, využívající optimálně jmenovité kapacity článku nebo baterie.

*Průběh vybíjení* – je časový průběh napětí a proudu během vybíjení.

*Vybíjecí charakteristika* – je závislost napětí na době vybíjení při konstantním vybíjecím proudu (počáteční podmínky: plné nabití, určitá teplota elektrolytu).

*Zatěžovací voltampérová charakteristika* – vyjadřuje zmenšení napětí článku nebo baterie v závislosti na vybíjecím proudu po určité době vybíjení (většinou po 1 s, 10 s, 30 s, 60 s) při určitém výchozím stavu baterie, tj. nabití na 100 %, vybití na 66, 50, 25 %, a určité výchozí teplotě elektrolytu (např. 25, 0, –18, –30 °C).

*Samovolné vybíjení* – někdy též samovybíjení, je nežádoucí vybíjení vnitřními elektrochemickými pochody v akumulátoru.

*Cyklus (akumulátoru)* – je nabití a vybití akumulátoru za definovaných podmínek v oblasti povolené pracovní schopnosti akumulátoru.

*Sulfatace* – je chemická přeměna aktivních hmot oloveného akumulátoru na síran olovnatý. Vyskytuje se: a) při

každém běžném vybíjení, kdy je tato přeměna vratná následujícím nabíjením, b) při špatném zacházení s akumulátorem, zejména při značném vybití a ponechání akumulátoru ve vybitém stavu po delší dobu. V tomto případě dojde obvykle k nevratné sulfataci, tj. k znehodnocení akumulátoru.

*Izolační odpor baterie* – je odpor mezi elektrodami baterie a zemí (případně kostrou vozidla, konstrukcí stroje apod.).

*Pozn.* V elektrochemii se nabíjecí nebo vybíjecí proudy udávají často jako násobky jmenovité kapacity akumulátoru, nebo jako procenta jmenovité kapacity.

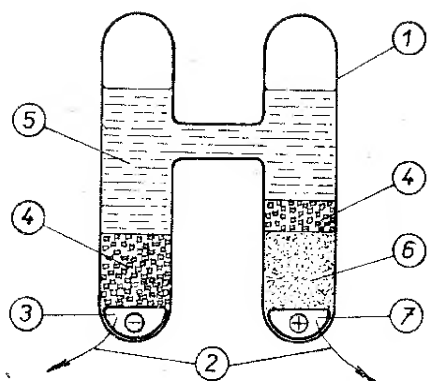
## Základní elektrochemické články

### Mezinárodní Westonův normálový článek

Jako primární etalony napětí slouží Westonovy články. Jsou vyráběny podle mezinárodních předpisů, které byly stanoveny již na konferenci v Londýně roku 1908. Provedení článků, vyráběných v ČSSR, musí odpovídat ČSN 35 6402. Westonovy články se používají všude tam, kde nejsou požadavky na odběr proudu – tedy zejména ke kompenzačním měřením. Používají se i jako normály přesného a stálého napětí při laboratorních měřeních. Vyrábějí se i články, vhodné k vestavění do přesných měřicích přístrojů, jako jsou např. pHmetry, číslicové voltmetry aj. I když se mnohdy dnes nahrazují kompenzovanými referenčními diodami, absolutní stálost jejich napětí nahradit nelze.

Provedení normálového Westonova článku je na obr. 1. Kladnou elektrodou je čistá rtuť, zápornou tvoří amalgam kadmia (87,5 % Hg a 12,5 % Cd). Nad zápornou elektrodou jsou krystaly síranu kademnatého. Nad kladnou elektrodou je směs síranu rtuťnatého a síranu kademnatého a navrch jsou krystaly síranu kademnatého. Zbývající prostor je vyplněn nasyceným roztokem síranu kademnatého. Příklady





Obr. 1. Klasické provedení normálového Westonova článku. 1 – skleněná nádoba, 2 – drátové vývody elektrod, 3 – amalgam kadmia, 4 – krystaly síranu kademnatého, 5 – nasycený roztok síranu kademnatého, 6 – síran rtuťnatý, 7 – rtuť

ke kladné a záporné elektrodě jsou platinové.

Průměrné svorkové napětí při teplotě kolem 20 °C je vyjádřeno vztahem

$$U_t = U_{20} - 0,000046 (t - 20),$$

kde  $U_t$  je svorkové napětí ve voltech při teplotě  $t$  a  $U_{20}$  svorkové napětí ve voltech při 20 °C.

V průmyslové praxi se používají články, u nichž je elektrolytem nenasycený roztok (při 20 °C), síran kademnatý u těchto článků nevytvoří krystaly. Články mají napětí 1,0180 V až 1,0198 V a řadí se do třetí jakostní třídy.

Vnitřní odpor normálového článku bývá až 500 Ω. Při používání normálových článků je třeba řídit se těmito zásadami:

1. Zatěžovací odpor má být co nejmenší a odběr proudu nemá být větší než 1 μA. Článek musí být chráněn před náhodnými zkraty i větším, byť krátkodobým zatížením.
2. Teplota okolí se má pohybovat v mezích +4 až +40 °C.
3. Článek musí být uložen v předepsané poloze a nesmí se převracet, musí být chráněn proti otřesům a nárazům.
4. Článek je použitelný, nemění-li se jeho svorkové napětí o více než 0,5 mV za rok.

Jediným výrobcem těchto článků u nás je Metra Blansko, která vyrábí tyto typy:

- W100, I. třída, 1,01855 až 1,01875 V, dovol. změna za rok 50 μV;  
 II. třída, 1,01845 až 1,01885 V, dovol. změna za rok 100 μV;  
 III. třída, 1,0180 až 1,0199 V, dovol. změna za rok 200 μV.

Do přenosných měřicích přístrojů je určen zmenšený, hermeticky uzavřený článek W100 T3 o napětí 1,01845 až 1,01885 V, dovolená změna za rok je max. 100 μV.

Všechny normálové články musí mít stejně jako přesné měřicí přístroje průvodku s údaji o přesnosti, o svorkovém napětí atd.

### Galvanický burelový (burelosalmiakový) článek

Galvanický burelový článek je nejrozšířenějším a nejznámějším článkem. Jeho podstatou je spojení zinku, burelu, uhlíku a salmiaku. Zde se omezíme pouze na jednu, pro amatéry zajímavou vlastnost galvanického článku, na jeho akumulaci schopnosti. O této vlastnosti se v odborné literatuře málo pojednává a výrobci se o ní v prospektech nezmiňují. Zajímavé praktické výsledky uvádí např. ing. Kubeš [18]. Plochá kapesní baterie typu 310 byla vybíjena 1/2 hodiny denně do odporu 15 Ω. Po deseti cyklech měla napětí asi 1,8 V. Nová baterie stejného typu byla zatěžována stejně a vždy po zbytek doby do 24 hodin byla dobíjena (tj. po dobu 23 1/2 hodiny) proudem 5 mA. Tato baterie vydržela 32 cyklů, tedy více než trojnásobek. Z baterie bylo v druhém případě odebráno 0,09 Ah a nabíjecím proudem dodáno 0,117 Ah, což je účinnost asi 78 %.

Pro zajímavost uvedeme ještě jeden příklad, jak zlepšit využití článků. Mokrý Leclancheův článek typu VI byl vybíjen denně 2 hodiny do odporu

10  $\Omega$ . Stejným způsobem byl vybíjen i jiný článek stejného typu. První článek byl vždy po vybíjení ponechán v klidu, druhý byl po stejnou dobu (tj. po 22 hodin) nabíjen stejnosměrným proudem 20 mA. První článek poskytl do zmenšení napětí 0,7 V energii 105 Ah (zkouška trvala 270 dnů). Druhý dodal celkem 590 Ah a vydržel v chodu celkem 1 833 dnů.

Burelové články se musí nabíjet odlišně od olověných akumulátorů. Nabíjet se musí vždy články nové, čerstvé, dosud nevybité, jejichž účinné látky se dosud neproměnily na nové sloučeniny. Vybité články nabíjet nelze, nebo jen se zanedbatelným účinkem. U suchého burelového článku je pásmo vratných pochodů dáno napětovými hranicemi 1 až 1,5 V. Hranice kapacity je max. 20 %. Zkušenosti s regenerováním suchých článků lze shrnout do těchto bodů:

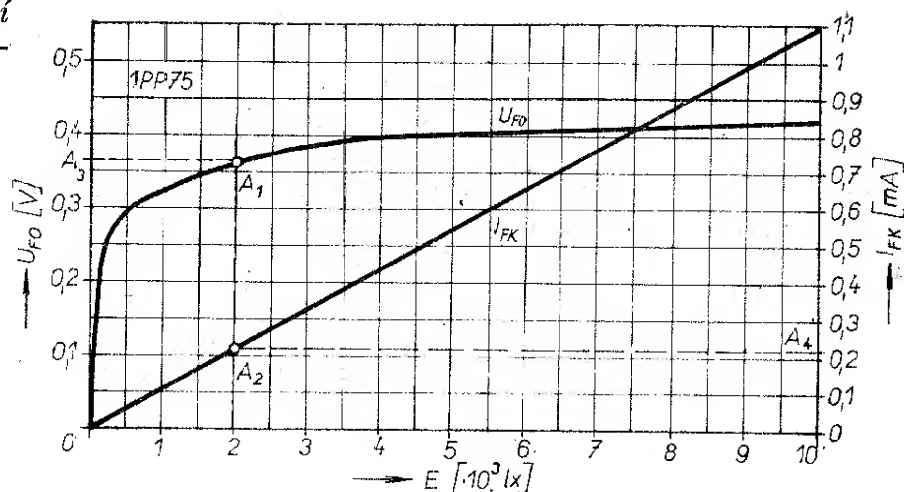
1. K dobíjení jsou vhodné články, jejichž napětí je větší než 1 V. Schopnost regenerace se zachová, zastaví-li se vybíjení před zmenšením svorkového napětí pod 1 V.
2. Nabíjecí proud musí být tak velký, aby nabíjecí napětí nebylo větší než napětí, při němž se rozkládají soli, tvořící elektrolyt. Nabíjecí proud musí být tedy relativně velmi malý. Optimum je asi 0,1 mA na 1 cm<sup>2</sup> povrchu rozpustné elektrody (zinek) nabíjeného článku. Větší i menší nabíjecí proudy dávají horší výsledky.
3. Ze suchých článků jsou nejvhodnější k nabíjení články bez salmiaku (tzv. ABC, alkalickoburelové články).
4. Při zachování uvedených pravidel lze dosáhnout až 3 000 nabíjecích a vybíjecích cyklů při podstatném zvětšení kapacity.
5. Kapacitní účinnost (ampérhodinová) nabíjecích a vybíjecích cyklů u suchých článků je asi 70 %.
6. Vzhledem ke změnám vnitřního odporu během dobíjení jsou nejvhodnější jako zdroje nabíjecího proudu stabilizované zdroje proudu.

Blíže podrobnosti jsou v [9], [10], [18].

## Sluneční baterie

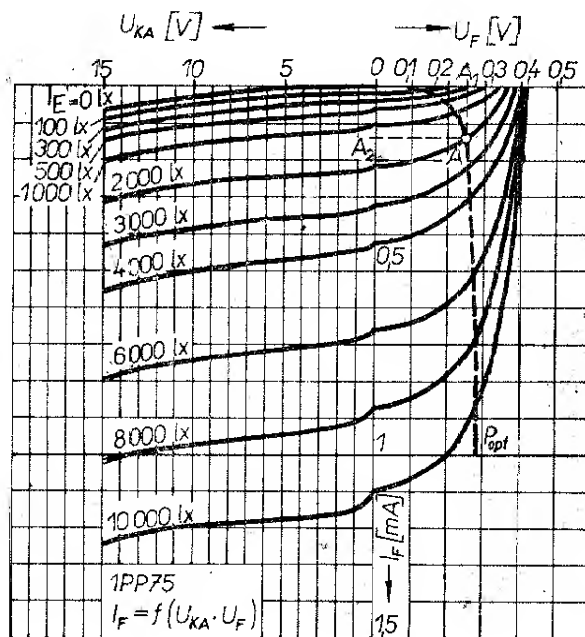
Čas od času se (převážně v zahraniční literatuře) objevují návody na stavbu a použití sluneční baterie. Je to zařízení, které přeměňuje světelnou a částečně i tepelnou energii, dopadající na jeho aktivní plochu, přímo na elektrickou energii. Využívá se k tomu jevu, vznikajícího na styku dvou polovodičových vrstev, tzv. hradlového jevu. Hradlový jev lze pozorovat u všech polovodičových prvků, tj. jak u křemíku, tak např. i u germania, selenu atd. Energetická účinnost článků využívajících hradlového jevu je však velmi malá – k dosažení i malého výkonu je třeba intenzivní osvětlení a velká aktivní plocha polovodičového prvku. Kdybychom chtěli použít ke zhotovení sluneční baterie běžně dostupný polovodičový prvek, máme k dispozici jedinou diodu – křemíkovou fotonku 1PP75. Podle katalogu má tato dioda napětí  $U_{KA}$  (závěrné napětí za tmy a při proudu 50  $\mu A$ ) větší než 5 V a  $U_{FO}$  (hradlového napětí naprázdno) alespoň 0,3 V při 1 000 lx;  $I_{FK}$  (hradlový proud do zkratu) je alespoň 70  $\mu A$  při 1 000 lx. Mnohem dokonaleji než tyto údaje charakterizují diodu dva grafy – obr. 2 a 3. Na obr. 2 je charakteristika, u níž je parametrem osvětlení, na obr. 3 je závislost proudu nakrátko a hradlového napětí naprázdno v závislosti na osvětlení. Vidíme, že dioda v propustné části charakteristiky pracuje jako zdroj napětí. Ke hrubé orientaci ještě dodejme, že běžné osvětlení v místnosti je asi 300 lx, osvětlení na pracovním stole průměrně asi 500 lx, v přírodě, je-li slunce za mraky, je osvětlení asi 800 lx, přímé sluneční světlo je asi 2 000 lx. Dále je ovšem třeba, abychom si uvědomili, že ke vzniku napětí na přechodu polovodičového prvku je třeba pouze určité části spektra světelného záření; pro diodu 1PP75 je tato část dána grafem na obr. 4. Z grafu vyplývá, že jako zdroj světla je pro 1PP75 nejvhodnější sluneční záření a že některá monochromatická světla (např. světlo výbojky) nelze křemíkovou fotonkou měřit, aniž by nebyl výsledek měření zkreslený.

Obr. 2. Závislost napětí naprázdno a proudu nakrátko na osvětlení

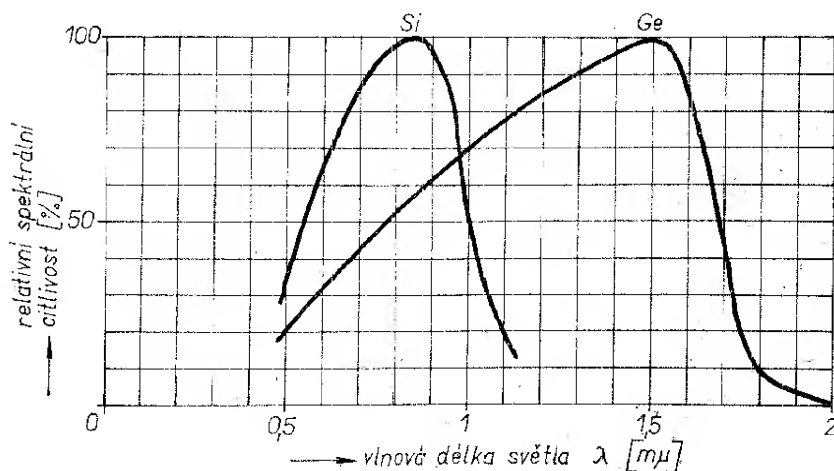


Jaký výkon je dioda schopna dodat, lze odvodit z uvedených grafů. Počítáme-li např. s osvětlením 2 000 lx, protne voltampérová charakteristika na obr. 3 křivku optimálního zatížení diody v bodu A. Vedeme-li v tomto bodu rovnoběžky s osami souřadnic, dostaneme průsečíky, určující napětí ( $A_1 = 0,25$  V) a proud ( $A_2 = 150$   $\mu$ A). Toto napětí a proud dodá dioda samozřejmě pouze tehdy, má-li optimální zatěžovací odpor, tj.  $250 \text{ mV}/150 \text{ } \mu\text{A} = 1\,800 \text{ } \Omega$ . Údaje naprázdno určíme snadno z grafu na obr. 2 – bod  $A_3$  určuje napětí naprázdno při osvětlení 2 000 lx a bod  $A_4$  proud nakrátko při stejném osvětlení. Potřebujeme-li tedy dobít baterii akumulátorů NiCd o napětí 6 V proudem 3 mA, je při osvětlení 2 000 lx třeba sestavit sluneční baterii tak, abychom dostali nejen potřebný proud, ale i napětí.

Pro tento konkrétní případ je třeba

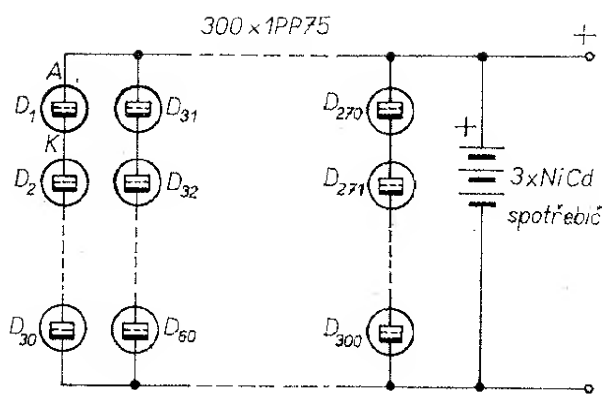


Obr. 3. Voltampérová charakteristika křemíkové fotonky 1PP75

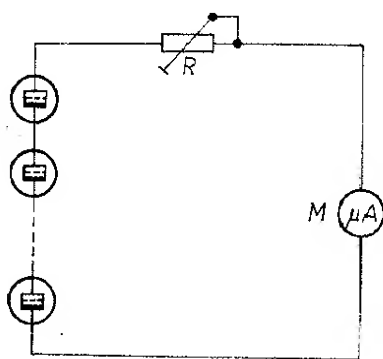


Obr. 4. Graf spektrální citlivosti





Obr. 5. Sluneční baterie dobíjející tři články NiCd



Obr. 6. Jednoduchý expozimetr

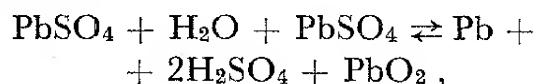
spojit do série 30 diod. Takový řetězec diod dá naprázdno napětí větší než 10 V (při plném osvětlení), do zkratu však dodá proud pouze 0,3 mA. Proud potřebný k dobíjení baterie bychom tedy získali, spojili-li bychom paralelně 10 uvedených řetězců diod. Celá sluneční baterie by tedy obsahovala celkem 300 diod, spojených paralelně a v sérii podle obr. 5. Uvážíme-li cenu jedné diody a zvážíme-li energetickou bilanci, snadno zjistíme, proč nelze sluneční baterie z hradlových prvků v praxi použít.

Nicméně lze však hradlového jevu fotonky 1PP75 využít v praxi např. k měření dopadajícího světla, např. podle obr. 6. Počet diod určíme podle výkonu, který potřebujeme k plné výchylce ručky měřidla (při uvážení ztráty na předřadném odporu  $R$ , jímž lze přístroj ocejchovat). Stupnici měřidla ocejchujeme buď v luxech, nebo (pro fotogra-

fické účely) číslem clony (přístroj pak slouží jako expozimetr).

### Olověný akumulátor

Zjednodušeně lze říci, že olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), ponořené do zředěné kyseliny sírové. Jeden článek akumulátoru je tvořen právě dvěma deskami, elektrodami. Články se spojují do série a tvoří akumulátor (baterii). Chemický pochod při nabíjení a vybíjení je vratný a lze ho vyjádřit vztahem

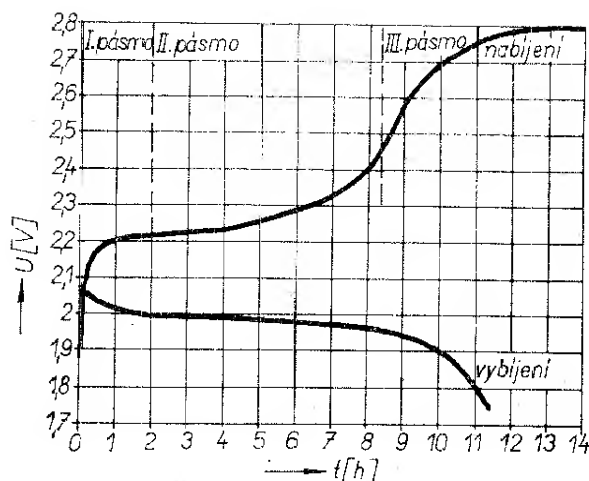


kde směr šipky vpravo značí pochod při nabíjení a vlevo při vybíjení. Při nabíjení se tvoří kyselina sírová a elektrolyt houstne. Po skončeném nabíjení je na kladné elektrodě tmavohnědý kysličník olovičitý a na záporné elektrodě je jemně rozptýlené tmavošedé olovo. Při vybíjení je pochod opačný: elektrolyt řídne a ve vybitém stavu je na kladné elektrodě červenohnědý a na záporné tmavošedý síran olovnatý.

Hustota elektrolytu se se zvětšujícím se nábojem zvětšuje a je tedy spolehlivou známkou stavu akumulátoru. Druhým ukazatelem stavu akumulátoru je zvětšující se napětí při nabíjení. Pomocným ukazatelem stavu je tzv. plynování elektrod. Z akumulátoru totiž při nabíjení unikají bubliny, jakoby se elektrolyt „vařil“. Tento jev však ukazuje na to, že je ukončen rozklad síranu olova a že začíná elektrolyza vody. Voda se při nabíjení rozkládá na kyslík a vodík. Proto je třeba akumulátory nabíjet ve větraných místnostech, nebo na volném prostranství. Směs vodíku a kyslíku tvoří totiž třaskavý plyn, který může explodovat třeba i vznícením jiskrou na přívodu nabíječe k akumulátoru.

Pro nabíjení a vybíjení olověného akumulátoru jsou typické křivky podle obr. 7. Křivka napětí při nabíjení akumulátoru probíhá třemi pásmy – první pásmo po připojení nabíjecího proudu je charakterizováno zvětšováním napětí v souvislosti s tvorbou kyseliny v pórech olověných desek. Jde o oblast mezi na-





Obr. 7. Vybíjecí a nabíjecí křivka olověného akumulátoru

pětím 1,75 až 2,2 V; hustota elektrolytu se přitom zvětšuje z 0,95 na 1,15. Druhé pásmo přeměny síranu olovnatého je ohraničeno napětím 2,2 až 2,45 V. Hustota  $h$  kyseliny se zvětší až na 1,25. Zvětší-li se napětí článku při nabíjení na 2,45 V, začne se kromě síranu rozkládat i voda (na kyslík a vodík) a akumulátor začne plynovat. Rozloží-li se všechny síran, zvětší se napětí článku na 2,7 až 2,8 V. Od tohoto okamžiku se přiváděná energie spotřebovává jen k rozkladu vody, akumulátor začne intenzivně plynovat a jeho napětí se již nezvětšuje.

Z vlastností elektrolytu vychází i mrazuvzdornost olověného akumulátoru. Plně nabitý akumulátor s hustotou elektrolytu asi 1,4 nemrzne ani při mrazech větších než  $-40^{\circ}\text{C}$ . Vybitý akumulátor může však „zmrznout“ i při teplotách těsně pod bodem mrazu. I u zcela nabitého akumulátoru je ovšem kapacita závislá na okolní teplotě – zmenšování kapacity s klesající teplotou se vysvětluje značným zmenšením viskozity elektrolytu. V zimě je proto třeba dbát na to, aby byl akumulátor vždy dostatečně nabit a musíme jeho energii šetřit co nejvíce.

Vnitřní odpor olověného akumulátoru je velmi malý, řádu  $0,001\ \Omega$ . Závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Při nabíjení se vnitřní odpor zmenšuje, při vybíjení se zvětšuje. Vybitý článek má asi dvakrát větší vnitřní odpor oproti

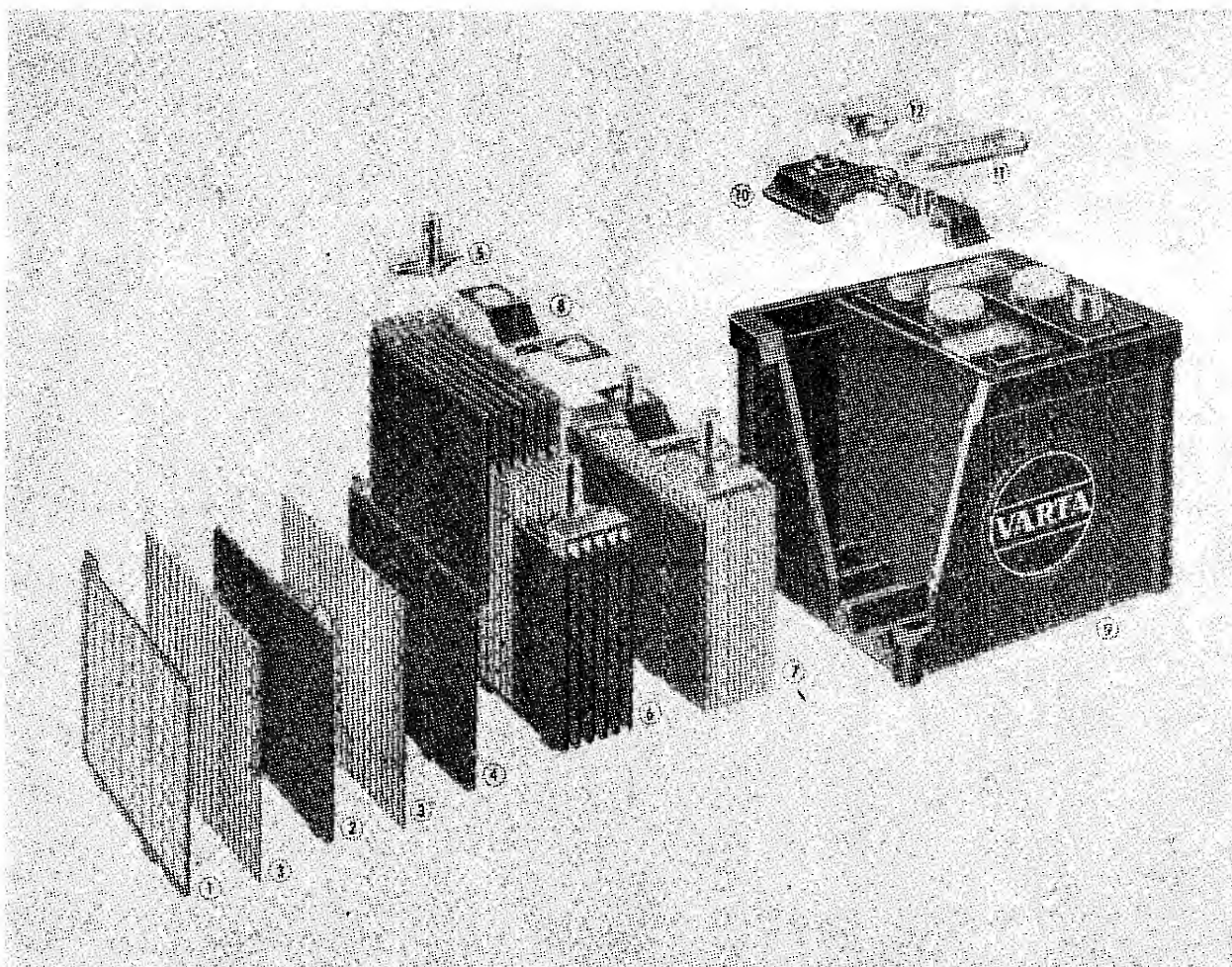
článku nabitému. Při snižování teploty se zvětšuje vnitřní odpor článku asi o  $0,4\ \%/^{\circ}\text{C}$ . Malý vnitřní odpor předurčuje olověný akumulátor k použití všude tam, kde potřebujeme velký proud po krátkou dobu, tj. např. v automobilech při startování (startér odebírá z akumulátoru proud až 100 A i více). Zvětšený vnitřní odpor signalizuje větší sulfatizaci článku.

Na 1 Ah je třeba asi 36 g aktivní hmoty elektrody. Kapacita akumulátoru je přímo úměrná ploše elektrod, nebo přesněji řečeno, množství činné hmoty, která se účastní vratné chemické přeměny. Protože kapacita akumulátoru závisí i na velikosti vybíjecího proudu, udává každý výrobce zaručenou minimální kapacitu při určitém proudu (což bývá, není-li uvedeno jinak, proud pro vybíjení po dobu 10 hodin, tj.  $1/10$  kapacity v ampérech).

Olověné akumulátory se vyrábějí v mnoha druzích a typech. Podle použití se rozdělují na (v závorce je písmenové označení, které pro jednotlivé typy používá Pražská akumulátorka Mladá Boleslav):

- startovací olověné akumulátory pro spouštění spalovacích motorů a napájení elektrických zařízení motorových vozidel (označení ST, N, T);
- olověné akumulátory pro motocykly k napájení elektrických spotřebičů motocyklů bez elektrického spouštěče (označení M, MO);
- startovací olověné akumulátory pro motocykly (označení MS);
- dopravní olověné akumulátory a články, určené jako zdroj elektrického proudu k napájení elektrických motorů a dopravního zařízení (označení K, KS s mřížkovými elektrodami, DT s trubkovými kladnými elektrodami);
- olověné akumulátory k osvětlování, k napájení osvětlovacích zařízení kolejových vozidel a plavidel (označení GO);
- telefonní olověné akumulátory



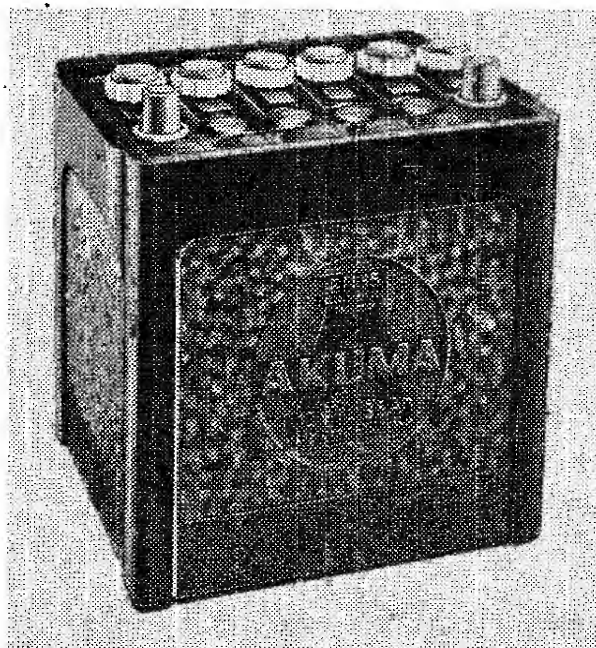


pro sdělovací zařízení (označení OE);  
– staniční olověné články, akumulátory a jejich baterie, určené jako stacionární zdroje v telekomunikacích, k osvětlování budov, napájení signalizačních zařízení apod. (označení J).

Uvedené druhy a typy olověných akumulátorů nejsou samozřejmě vyčerpávajícím souhrnem. Různí světoví výrobci vyrábějí téměř nepřehledné množství typů, které se liší konstrukcí, hustotou a složením elektrolytu, velikostí a vnějším provedením.

Typový znak akumulátorů z Pražské akumulátorky se skládá z jednomístného čísla, písmenového znaku, určujícího druh a z dvouciferného čísla. První číslo znamená počet článků v akumulátoru, druhé číslo za písmenem určuje kapacitu v Ah. Tedy např. akumulátor 6N35 je šestičlánekový startovací olověný akumulátor ke spouštění spalovacích motorů, s kapacitou 35 Ah (tj. 12 V/35 Ah).

Obr. 8. Startovací olověný akumulátor – jeho konstrukce (nahore) a provedení (dole)

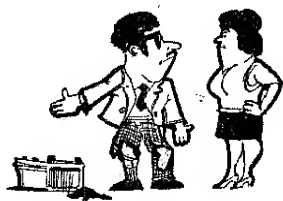


Je pochopitelné, že se všemi druhy olověných akumulátorů zabývat nemůžeme. Vybereme si ty nejrozšířenější a nejzajímavější typy startovacích olověných akumulátorů, určených jako startovací akumulátory motorových vozidel.

Konstrukce moderního automobilového startovacího akumulátoru je na obr. 8. Záporné elektrody (desky 1, 4) obklopují kladné elektrody (desky 2). Všechny systémy desek jsou spojeny olověnými můstkami, do nichž jsou desky připájeny svými praporce. Kladné desky jsou od záporných odděleny tzv. mipmaparátory, což jsou tenké pórovité desky z tzv. miporu, skelné vaty a z tkanin (z vláken plastických hmot), vzájemně slisované (3). Sady desek s pólovými můstkami a separátory tvoří v akumulátoru mechanicky pevný celek bez pohyblivých součástí (7). Jen tak může akumulátor odolávat těžkým provozním podmínkám v motorovém vozidle. Jednotlivé monobloky – články – jsou pak vloženy do vzájemně izolovaných částí celého bloku a jsou spojeny do série propojkami, umístěnými na povrchu akumulátoru.

Jak jsme si již uvedli, kapacita akumulátoru závisí na mnoha činitelích. Kromě již uvedených se mění i s počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů. Při opakovaném nabíjení a vybíjení se kapacita neustále zvětšuje. Jmenovité kapacity se u akumulátoru dosáhne asi při desátém nabíjecím cyklu. Kapacita se začne zmenšovat až při opotřebení především kladné elektrody. Doba života akumulátoru odpovídá asi 350 nabíjecím cyklům. Otřesy, přetěžování, nabíjení a vybíjení velkým proudem, časté startování atd. skutečnou dobu života akumulátoru velmi zkracují. Při běžném a správném používání je doba života akumulátoru průměrně asi 3 až 4 roky.

Nový akumulátor může být dodáván výrobcem buď jako formovaný v suchém stavu, bez elektrolytu (dlouhé uva-

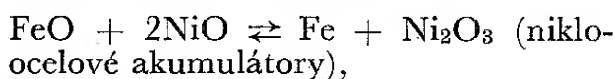


dění do činnosti), nebo jako nabitý zasucha bez elektrolytu (rychlé uvedení do činnosti), nebo jako nabitý s elektrolytem (schopný okamžité funkce).

### Alkalické akumulátory

Průmyslově se vyrábějí akumulátory niklo-kadmiové a oceloniklové, lišící se složením záporné elektrody. Činnou hmotou kladných desek obou druhů akumulátorů je hydroxid nikelnatý, který se při formování mění ve vyšší kysličník niklu. K zabezpečení dobré vodivosti se přidává šupinkový nikl nebo grafit. Činnou hmotou záporných desek niklo-kadmiových akumulátorů je směs kadmia, železa a jeho kysličníků. Příměsí kadmia k železu se vlastnosti elektrody značně zlepšují, protože železo brání slinutí kadmia. Činná hmota záporné elektrody je u niklo-ocelových akumulátorů složena z práškového železa a jeho kysličníků s menším množstvím kysličníků rtuti a dalších speciálních příměsí.

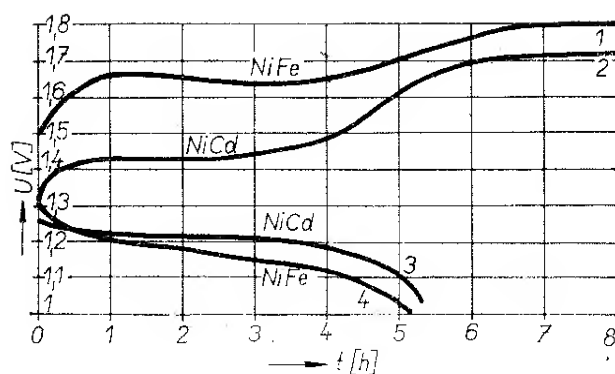
Elektrolytem obou druhů akumulátorů je roztok hydroxidu draselného nebo sodného o hustotě, závislé na tepelných podmínkách. Reakce obou druhů akumulátorů při nabíjení je



šipka doprava značí pochod při nabíjení, doleva při vybíjení.

Elektrolyt se během nabíjení a vybíjení nemění a z jeho hustoty nelze soudit na stav nabití akumulátoru. Přesto se má hustota elektrolytu pravidelně měřit, neboť se během provozu zmenšuje a tím se zmenšuje i kapacita akumulátoru. Je-li hustota menší než 1,16, musí se elektrolyt vyměnit.

Napětí jednoho článku naprázdno po nabití je 1,4 až 1,48 V. Po nabití se po určité době zmenší na stálou velikost – 1,3 až 1,4 V. Tato změna napětí po skončeném nabíjení se vysvětluje tím, že se při nabíjení vytvářejí vyšší nestálé kysličníky niklu, které se po nabití akumulátoru rozkládají na nižší kysličníky



Obr. 9. Nabíjecí (1, 2) a vybíjecí (3, 4) křivky alkalických akumulátorů

a plynňý kyslík; po jejich rozkladu je pak napětí relativně stálé. Vliv koncentrace elektrolytu na napětí je nepatrný. Vliv teploty na napětí je také velmi malý.

Elektrické vlastnosti obou typů alkalických akumulátorů nejlépe objasňují nabíjecí a vybíjecí křivky na obr. 9. Napětí nikloocelového akumulátoru se při nabíjení rychle zvětší na 1,6 až 1,65 V. Pak při dalším nabíjení (asi po 2/3 nabíjecí doby) zůstává celkem stálé. V závěru nabíjení se napětí opět zvětší až na 1,8 až 1,85 V. Nabíjecí napětí niklokadmiového akumulátoru je asi o 0,2 V menší, v začátku nabíjecí doby se rychle nezvětšuje. V prvních dvou třetinách nabíjecí doby se napětí akumulátoru pohybuje v rozmezí asi 1,4 až 1,45 V a v poslední třetině se prudce zvětší na 1,7 až 1,8 V s nepatrnou tendencí se dále zvětšovat. U nikloocelového akumulátoru se na elektrodách již v začátku nabíjení prudce vyvíjejí plyny, u niklokadmiového se plynů vyvíjí jen velmi málo a poněvíc až ke konci nabíjení. V souhlasu s tím je energetická účinnost nikloocelového akumulátoru asi o 10 % menší, než akumulátoru niklokadmiového. Vybíjecí křivky obou akumulátorů mají přibližně shodný průběh. Nikloocelový akumulátor má větší počáteční napětí, to se však při vybíjení zmenšuje rychleji a jeho průměrné napětí je menší, než průměrné napětí akumulátoru niklokadmiového.

*Pozn.* U olověného akumulátoru je rozdíl mezi nabíjecím a vybíjecím napětím menší, než u akumulátorů alkalických. To vysvětluje větší energetickou účinnost olověného akumulátoru.

## Srovnání druhů akumulátorů a další vlastnosti alkalických akumulátorů

U akumulátorů se uvádí dvojí účinnost: energetická a nábojová. Energetická účinnost je podíl energie odebrané (ve Wh) k energii dodané (100 %). Nábojová účinnost je podíl odebraných Ah (proudu za jednotku času) k dodaným Ah (100 %). Pro porovnání si uvedeme tabulku, z níž je zřejmá účinnost jednotlivých druhů akumulátorů. Tabulka pochopitelně předpokládá tzv. ideální stav, nezahrnuje ztráty při malé teplotě, ztráty vlastním vybíjením atd.

Druh akumulátoru	Účinnost [%]	
	nábojová	energetická
olověný	90	75
niklokadmiový	75 až 80	60 až 65
nikloocelový	75 až 80	55 až 60
stříbrozinkový	95 až 100	80

Ponechá-li se akumulátor po úplném nabití v klidu, nezůstane jeho náboj během doby beze změny, ale zmenšuje se vlastním vybíjením. U dobrých výrobků je denní průměrná ztráta náboje asi 0,5 %. Podle toho by se každý akumulátor sám vybil asi za půl roku vnitřními chemickými pochody. Běžné výrobky jsou však po této stránce poněkud horší – výrobci udávají ztrátu původního náboje asi 1 % denně. Ztráty nemají žádné obecné lineární závislosti a jsou u každého typu a každé velikosti akumulátoru jiné. Platí však, že menší články ztrácejí svůj náboj rychleji, než větší stejného druhu. U olověného akumulátoru se rozpouští olovo desek a vzniká síran olovnatý, který je produktem běžného vybíjení. Síran olovnatý a některé kovy (měď, železo, stříbro aj.), obsažené v deskách akumulátoru, tvoří lokální (místní) články. Ty způsobují trvalý vývin plynů na deskách, parazitní proudy a tím úbytek náboje. Tyto pochody intenzívní s množstvím nečistot a se stářím akumulátoru a přímo úměrně i s teplotou. Naproti tomu u nikloocelového akumulátoru dochází ke

ztrátám především a mnohem rychleji v prvních hodinách po nabití. U jakostních výrobků se pak ztráty ustálí a jsou velmi malé. Prudký úbytek náboje v prvních hodinách po nabití je způsoben rozkladem peroxidu niklu kladné elektrody (desky). Pozdější mírný pokles náboje je způsoben podobnými pochody jako u olověného akumulátoru.

Vnitřní odpor alkalických akumulátorů je větší, než u akumulátorů olověných, přičemž niklokadmiový akumulátor má vnitřní odpor menší, než akumulátor nikloocelový. Vnitřní odpor alkalických akumulátorů se pohybuje v rozmezí několika desetin miliohmů.

Pro startovací účely se vyrábějí speciální alkalické akumulátory se zmenšeným vnitřním odporem. Ty pak mají téměř stejný vnitřní odpor jako akumulátory olověné. Vnitřní odpor lze zmenšit např. zmenšením vzdálenosti mezi elektrodami a zvětšením počtu desek při současném zmenšení jejich tloušťky. O vnitřním odporu je snad ještě vhodné poznamenat, že u všech akumulátorů velmi značně závisí na stupni vybití a že se u vybitého akumulátoru zvětšuje velmi prudce (téměř exponenciálně).

Alkalické akumulátory jsou svou konstrukcí uzpůsobeny k dlouhodobé službě. Vydrží-li olověný akumulátor v provozu tři až čtyři roky, staniční olověná baterie pět až deset let, vydrží alkalický akumulátor deset až dvacet let a byly dokonce zaznamenány případy, kdy nikloocelová trakční baterie pracovala i čtyřicet let [18].

Články nikloocelových akumulátorů se spojují do série stejně jako u olověných akumulátorů. Desky článků se spojují do sad, přičemž krajní (kladné) desky nejsou izolovány od článkové kovové nádoby. Sada záporných desek je izolována od kladných desek pryžovými tyčinkami a od stěn nádoby pryžovými profilovými vložkami. Nádoba článku bývá svařena z ocelového plechu, přičemž sady kladných elektrod bývají mnohdy svařeny se dnem nádoby. Pod deskami je kalový prostor, v němž se usazuje činná hmota, vymývaná z desek. Nad hladinou elektrolytu je prostor pro plyny. Menší články jsou uzavřeny

pevnou zátkou, větší mají zátku s ventilem.

Jako olověné vyrábějí se i alkalické akumulátory v mnoha provedeních. Dále si uvedeme některé typy z řad, vyráběných v Pražské akumulátorce v Mladé Boleslavi (v závorce je uvedeno písmenové značení řady):

- dopravní niklokadmiové akumulátory (články i baterie) (NTK),
- napájecí niklokadmiové akumulátory pro sdělovací zařízení (v kovových nádobách NTK, v nádobách z plastických hmot NKNU),
- osvětlovací niklokadmiové akumulátory pro kolejová vozidla (NKO),
- niklokadmiové akumulátory pro velké proudy, tj. ke spouštění motorů diesel-elektrických lokomotiv a jiných zařízení, vyžadujících velké proudy; akumulátory se vyznačují malým vnitřním odporem (NKS),
- důlní niklokadmiové akumulátory k napájení přenosných svítilen v dolech a šachtách (NKDU).

Od výrobce může být dodán alkalický akumulátor před uvedením do provozu:

- formovaný s elektrolytem, nabitý, schopný okamžité činnosti,
- bez elektrolytu, zformovaný, s vlhkými elektrodami.

### Stříbrozinkové akumulátory

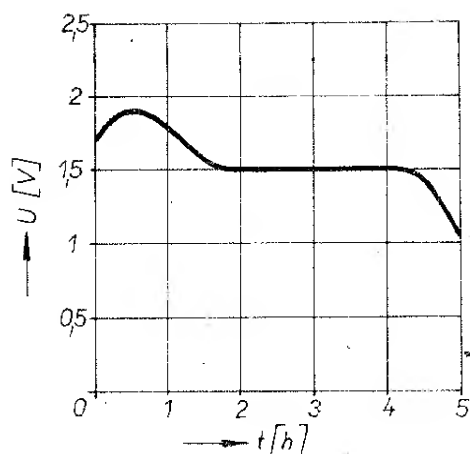
Stříbrozinkové akumulátory mají kladnou elektrodu ze sintrovaného stříbra a zápornou z kysličníku zinečnatého. Elektrolytem je hydroxid draselný (KOH) s přísadou alkalického zinečnatanu.

Elektrochemický pochod při nabíjení a vybíjení:

elektroda	kladná	záporná
nabitý stav	$\text{Ag}_2\text{O}_2$	Zn
přeměňuje se na	$\text{Ag}_2\text{O}$	
vybitý stav	Ag	ZnO.

Vybíjení má dva stupně: nejdříve se redukuje kysličník stříbrnatý  $\text{Ag}_2\text{O}_2$  na kysličník stříbrný  $\text{Ag}_2\text{O}$ . V druhém stupni se zmenšuje vybíjecí napětí článku na charakteristickou velikost asi 1,5 V, kysličník stříbrný se redukuje na



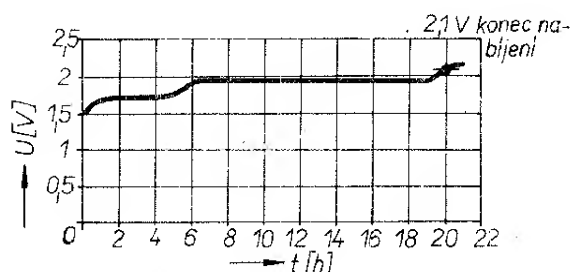


Obr. 10. Průběh napětí při vybíjení stříbrozinkového akumulátoru

čisté stříbro. Na záporné elektrodě oxiduje zinek při obou stupních vybíjení na kysličník zinečnatý  $\text{ZnO}$ . Hustota elektrolytu se během vybíjení téměř nemění. Pro konec vybíjení je charakteristický prudký pokles vybíjecího napětí.

První stupeň vybíjení (viz charakteristiku na obr. 10) je charakteristickým napětím kolem 1,8 V. Toto napětí si akumulátor zachovává asi po čtvrtinu celkové doby vybíjení. Pak se napětí zmenší na 1,5 V a toto napětí si akumulátor udržuje po celou dobu vybíjení. Konečné vybíjecí napětí se udává kolem 1,2 V až 1 V na článek a při dalším vybíjení se napětí rychle zmenšuje k nule.

Průběh nabíjecího napětí je ovlivněn změnou vnitřního odporu. Průběh změny nabíjecího napětí během nabíjení má též dva výrazné stupně (obr. 11). Průměrné napětí v prvním stupni nabíjení je 1,7 V (první stupeň nabíjení trvá asi čtvrtinu celkové nabíjecí doby).



Obr. 11. Průběh napětí při nabíjení stříbrozinkového akumulátoru

Při druhém stupni nabíjení se napětí zvětšuje asi na 1,9 V a zůstává až do konce nabíjení konstantní. Znakem ukončeného nabíjení je prudké zvětšování napětí. Přebíjení stříbrozinkovým akumulátorům velmi škodí. Nabíjecí napětí nesmí překročit 2,1 V na článek.

Vnitřní odpor akumulátoru se skládá z odporu elektrolytu a z odporu desek. Největší vliv na změnu vnitřního odporu stříbrozinkových akumulátorů mají změny na kladné elektrodě. Během vybíjení se totiž odpor kladné elektrody zmenšuje přeměňováním vícemocných kysličníků na čisté stříbro. Mimo to se při redukci kysličníků uvolňují póry činné hmoty kladné desky, čímž se zlepšuje difúze elektrolytu do kladné desky a zmenšuje se vnitřní odpor akumulátoru. Proto má změna vnitřního odporu stříbrozinkového akumulátoru velmi příznivý charakter, neboť je opačná, než u jiných typů akumulátorů. Vybíjením se tedy vnitřní odpor neustále zmenšuje, což má za následek téměř stálé napětí akumulátoru téměř po celou dobu vybíjení. Číselně se udává vnitřní odpor jednoho článku u akumulátorů o kapacitě 10 Ah asi 0,03 až 0,06  $\Omega$ , ve vybitém stavu asi 0,015 až 0,025  $\Omega$ . U článků akumulátoru 100 Ah v nabitém stavu je vnitřní odpor asi 0,015, ve vybitém stavu asi 0,003  $\Omega$ .

Konstrukce stříbrozinkových akumulátorů se podstatně neliší od ostatních druhů akumulátorů. V porovnání s ostatními druhy má však malý objem, neboť se dokonaleji využívá jeho prostoru. Kladné elektrody (desky) se řezou ze sintrovaných stříbrných desek. Vždy dvě elektrody jsou svařeny a tvoří vývod jednoho pólu. Záporné desky se vyrábějí z práškovitého kysličníku zinečnatého, který se lisuje s pojidlem (prášek je navlhčen v hydroxidu draselném). Jako oddělovače slouží celofánové obaly. Desky se obalují celofánovým papírem vždy dvě společně. Jejich přeložením se vytvoří dvojice, do níž se zasune záporná deska, rovněž zabalená v celofánu. Záporné desky musí být ihned po zhotovení (nejpozději do 24 hodin) ponořeny do elektrolytu, neboť jinak vzniká působením vzduchu uhličitán

draselný, škodlivý pro akumulátor. Z toho důvodu musí být i během provozu desky neustále ponořeny v elektrolytu a stříbrozinkový akumulátor se nesmí skladovat suchý, s vylitým elektrolytem.

Sady kladných a záporných desek se umísťují do průhledné nádoby z plastické hmoty. Záporných desek je vždy o jednu více než kladných. Víčko nádoby je opatřeno plnicím otvorem pro elektrolyt a zátkou s ventilem pro únik plynů.

Elektrolytem stříbrozinkových akumulátorů je roztok 40 % KOH, 5 % ZnO a 55 % H<sub>2</sub>O. Elektrolyt se téměř všechen absorbuje do desek, volného elektrolytu je v článku velmi málo. V porovnání s olověným akumulátorem stejné kapacity je ho pouze 1/5 až 1/7 celkového množství. Tlakem celofánu, který přijme část elektrolytu a nabobtná, jsou sady desek v nádobě zajištěny tak, že celek je pevný a odolný proti nárazům a otřesům.

V porovnání s jinými typy akumulátorů má stříbrozinkový akumulátor větší měrnou kapacitu. Stříbrozinkový akumulátor má asi 1/2 váhy a 1/3 objemu niklokaadmiového akumulátoru stejné kapacity. Má ze všech běžných akumulátorů největší účinnost, pracuje dobře i při nízkých teplotách do -40 °C a do teplot +40 °C. Vydrží větší proudová zatížení i vybíjení zkratovým proudem bez poškození. Lze ho skladovat i ve vybitém stavu. Samovolné vybíjení za měsíc je asi 20 %.

Nevýhody stříbrozinkového akumulátoru jsou:

- velká citlivost na přebíjení,
- citlivost na pokles hladiny elektrolytu,
- krátká doba života (udává se 350 až 400 cyklů, většina článků má však dobu života 100 až 130 cyklů a po 50 cyklech se kapacita již zmenšuje),
- značná cena.

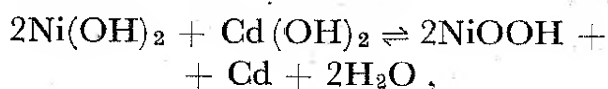
Přesto se stříbrozinkové akumulátory používají, zejména ty s menšími kapacitami, a to ve sdělovací technice, fotografických přístrojích, v letectví, v náročnějších měřicích přístrojích, u špičkových motorových vozidel atd.

Pražská akumulátorka Mladá Boleslav vyrábí stříbrozinkové akumulátory pro napájení nejrůznějších přenosných přístrojů pod označením SZ.

### Uzavřené niklokaadmiové články

Při nabíjení každého akumulátoru dochází k elektrolýze vody, obsažené v akumulátoru. Plyný vodík se s kyslíkem v akumulátoru hromadí, jejich tlak se postupně zvětšuje a tento jev nedovoluje akumulátor neprodyšně uzavřít. Proto je třeba nabíjet běžné akumulátory s odšroubovanými plnicími zátkami; tento problém se podařilo vyřešit pouze u alkalických akumulátorů NiCd.

Z hlediska přeměny elektrické energie na chemickou a naopak je uzavřený niklokaadmiový článek stejný jako běžný článek neuzavřený. Aktivními součástkami elektrod jsou v nenabitém stavu na kladné elektrodě Ni(OH)<sub>2</sub> a na záporné elektrodě Cd(OH)<sub>2</sub>. Elektrolytem je vodný roztok KOH. Nabíjení a vybíjení lze popsat rovnicemi



přičemž směr šipky zleva do prava popisuje děj při nabíjení.

Reakce při nabíjení probíhá podle uvedené rovnice až do úplného nabití. Při přebíjení se rozkládá kyslík na kladné a vodík na záporné elektrodě. Hromadění kyslíku se zabráňuje tím, že se volný kyslík váže na záporné elektrodě, která se tím současně i vybíjí, takže k žádnému dalšímu přebíjení nedochází a přestane se vylučovat vodík. V akumulátoru je třeba zabezpečit volný a rychlý „přechod“ plynného kyslíku na zápornou elektrodu; používané separátory musí být proto dokonale průchodné pro plyny. Aby se zabránilo předčasnému uvolňování vodíku na záporné elektrodě, pracuje akumulátor s kapacitním přebytkem aktivní hmoty na záporné elektrodě (vzhledem k elektrodě kladné).

Po konstrukční stránce je akumulátor řešen tak, že jsou obě elektrody v článku slisovány a tloušťka oddělovacího separátoru je přitom velmi malá, řádu desetin mm. Téměř všechen elektrolyt je



vázán v aktivních pórech elektrod a v pórech separátoru. V článku není žádný prostor pro volné plyny a ani žádný tekutý elektrolyt. Reakce probíhají tak, že uvnitř uzavřeného článku nemůže vzniknout škodlivý přetlak, neboť při určitém malém přetlaku se utvoří rovnováha, při níž množství kyslíku, vázaného elektrochemicky, odpovídá množství volného kyslíku. S ohledem na probíhající reakce je tedy nutné při nabíjení dodržovat především velikost nabíjecího proudu podle předpisu výrobce.

Běžné akumulátory s lisovanými elektrodami jsou určeny pouze k provozu v cyklech (nabíjení, vybíjení), a to při dlouhých a středních vybíjecích časech. Tzn., že sice snášejí přebíjení, nikoli však trvale. Elektrody uzavřených článků NiCd mohou být však vyráběny i spékáním jemného niklového prachu v ochranné atmosféře. Takto lze zhotovit značně porézní desky (porézita bývá až 80 % i více), které se během několika impregnačních cyklů nasatí aktivními hmotami. Takto vyráběné elektrody se nazývají sintrované. Akumulátor z nich vyrobený má značně lepší vlastnosti, než běžný akumulátor. Snáší zhruba čtyřikrát větší nabíjecí proud, než stejný akumulátor s lisovanými elektrodami. Výrobci dovoluji někdy jeho zatěžování i zkratovým proudem. Má mnohem menší vnitřní odpor a může být připojen trvale ke spotřebiči a zdroji jako pomocný vyrovnávací zdroj, neboť snáší trvalé přebíjení. Cena akumulátorů se sintrovanými elektrodami je však značná, a proto tento typ akumulátoru ještě zdaleka nevytlačil běžný typ akumulátoru NiCd. Je však běžné, že výrobci (např. VARTA) nabízejí oba typy akumulátorů NiCd.

Jsou-li spojeny články do série, může dojít při jejich vybíjení k nule k jejich přepólování. Jejich poškození se zabráňuje přidávkou antipolárních hmot do jedné z obou elektrod. Např. přimísením hydroxidu kademnatého do kladné elektrody se zamezí vzniku vodíku při změně polaritý článku. Nicméně i takto zabezpečeným akumulátorům otočení polaritý škodí a přepólování článku při nabíjení znamená zpravidla jeho bezpeč-

né zničení. Proto je třeba při spojování článků do série spojovat vždy články se stejnou kapacitou a nedoporučuje se vybíjet akumulátor více než do napětí 1 V na článek.

#### *Vlastnosti uzavřených niklo-kadmiových článků*

Uzavřený niklo-kadmiový článek nepotřebuje žádnou údržbu kromě nabíjení a může být považován za elektrotechnickou vestavnou jednotku do různých přístrojů a zařízení. Může pracovat v libovolné poloze. Na jeho pouzdro se však nesmí pájet přívody. Pro některá použití se prodávají akumulátory nebo články s přivařenými pájecími oky – i tehdy je však třeba chránit článek nebo akumulátor proti ohřátí při pájení přívodních vodičů. Akumulátor má příznivou, poměrně plochou vybíjecí křivku. Prakticky po celou dobu vybíjení se jeho napětí zmenšuje velmi pomalu (obráz. 9). Ke zmenšení napětí z 1,2 na 1,1 V (tj. o 10 %) dojde až po úbytku více než 50 % kapacity. Počáteční napětí článku je asi 1,25 V (úplně nabitý článek) a konečné vybíjecí napětí je 1 V. (Pozn. Nabíjecí a vybíjecí charakteristiky uzavřených akumulátorů NiCd jsou shodné s charakteristikami článků otevřených.)

Baterie i články se mají po vybití ihned nabít, nemají se nechávat ve vybitém stavu po delší dobu. Vybíjení po překročení koncového vybíjecího napětí nepřináší již téměř žádný energetický zisk a protože je vlivem mírně nestejných kapacit jednotlivých článků jejich konečné napětí (u složeného akumulátoru) různé, riskujeme i přepólování některého z článků akumulátoru. Většinou sice akumulátor nezničíme, zkracujeme však jeho dobu života.

Proti otevřeným akumulátorům stejné kapacity mají uzavřené akumulátory poněkud větší váhu; je to dáno nutností použít „kapacitní přebytek“ záporné elektrody a tlustší ocelový plech na plášť ke zvětšení odolnosti vůči vnitřnímu přetlaku.

Některé zapouzdrované akumulátory, zejména s větší kapacitou (od asi 100 mAh) mají bezpečnostní ventilové pojistky. Otevře-li se však během po-

užívání akumulátoru pojistka, je článek zničen a jeho funkci nelze obnovit (stejně je tomu při vydutí pláště akumulátoru nebo článku).

#### *Doba života článků NiCd*

U článků, pracujících výhradně v cyklech nabíjení-vybití (např. v holicích strojcích, u elektronických blesků, ve svítilnách apod.), které se v každém cyklu nabíjejí a vybijí až na horní a dolní hranici napětí, je doba života minimálně 300 cyklů (u článku s lisovanými elektrodami), popř. 500 cyklů (u článků se sintrovanými elektrodami). Předpokládá se však, že se články vybíjejí a nabíjejí jmenovitým proudem. Úbytek kapacity po uvedeném počtu cyklů je asi 20 až 25 %. K úplnému zničení článků dochází mnohem později – články s lisovanými elektrodami lze používat ještě asi po 500 cyklech a se sintrovanými elektrodami po 800 cyklech. Nabíje-li článek ihned po krátkém, částečném vybití, pak se doba jeho života značně prodlužuje. Dobíjí-li se článek vždy ihned po 10 až 15% zmenšení kapacity, lze počítat až s 15 000 částečných cyklů vybití-nabití. Přitom hraje rozhodující roli také způsob nabíjení. (Pozn. Údaje o době života byly převzaty z materiálů firmy VARTA.)

Většina výrobců uzavřených niklo-kadmiových článků doporučuje nabíjet je tzv. normálním proudem, který je určen 1/10 kapacity akumulátorů. Při použití nabíječek s odporovým omezením, u nichž se během nabíjení nabíjecí proud zmenšuje (v literatuře se též někdy označuje tento způsob nabíjení jako nabíjení podle křivky W), nemá být počáteční proud větší než  $1,2 I_{jmen}$ , tj. 1/12 kapacity, a na konci nabíjení se nemá jmenovitý proud překračovat. Běžně vybitý článek nebo akumulátor je třeba nabíjet jmenovitým proudem 14 hodin (údaj firmy VARTA, Bateria Slaný doporučuje 16 hodin). Při nabíjení menším proudem je třeba dobu nabíjení příslušně prodloužit. Nabíjení se předpokládá při teplotě 20 °C. Velmi vybité akumulátory (i ty, u nichž se některý článek přepóloval) se doporučuje nabíjet dlouhodobě jme-

novitým proudem (např. po dobu 24 hodin).

V praxi postupujeme tak, že většinou stav vybití nekontrolujeme. Je to jak obtížné, tak nepřesné. Jediným ukazatelem je napětí článku, a to je třeba změřit co nejpřesněji. Protože krátké přebíjení akumulátoru neškodí, je zvykem u uzavřených akumulátorů, že je nabíjíme bez ohledu na stav vybití nejlépe konstantním proudem (jmenovitým) po dobu 14 až 16 hodin. Stejně zacházíme s novými akumulátory, které se prodávají většinou v polonabitém stavu.

Zrychlené nabíjení připadá v úvahu pouze u článků se sintrovanými elektrodami. Problémem u zrychleného nabíjení je nutnost přepnout nabíječ na jmenovitý proud k nabíjení akumulátoru v době, kdy se článek (nebo akumulátor) přibližuje stavu plného nabití. K tomuto účelu se používají přesné úrovňové hlídače svorkového napětí nebo spínací hodiny. Obě metody jsou v praxi rovnocenné.

Byly dělány pokusy s tzv. třetí elektrodou, která byla zavedena na kladnou elektrodu. Na této pomocné elektrodě se objevilo napětí při začátku vývinu kyslíku. Tato metoda kontroly stavu nabití se však příliš neujala.

Uzavřené niklo-kadmiové články a akumulátory se vyrábějí v nejrůznějších velikostech. Zajímavé jsou např. miniaturní typy firmy VARTA, z nichž např. typ 10 DK o kapacitě 10 mAh váží pouze 0,9 g! Rozměry tohoto článku jsou: výška 5 mm a průměr 7,6 mm. Největší články mají kapacitu až několik desítek Ah.

#### **Zkoušení a měření galvanických článků a akumulátorů**

O měření a zkoušení galvanických článků a akumulátorů pojednávají normy ČSN 36 4110, 36 4310 a 36 4350. V běžné praxi vystačíme s měřeními méně přesnými, než předepisují normy. Většinou nám jde totiž o relativní zjištění celkového stavu článku nebo akumulátoru. Nejběžnější jsou měření:

1. napětí naprázdno,
2. vnitřního odporu,

3. impedance,
4. kapacita;  
u akumulátoru dále pak měříme
5. hustotu elektrolytu,
6. startovací schopnost (u startovacích akumulátorů),
7. dobu života,
8. odolnost proti přebíjení.

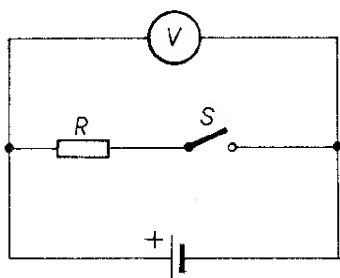
Výsledky některých z uvedených měření poskytuje uživateli výrobce článků nebo akumulátorů. Mnohdy však údaje od výrobce nestačí, nebo nejsou k dispozici. Pak je třeba, abychom je získali sami – podle účelu a způsobu použití článku či akumulátoru.

*Měření napětí naprázdno.* Napětí naprázdno  $U_0$  měříme při nezatíženém článku nebo akumulátoru voltmetrem s velkým vnitřním odporem a s odpovídající přesností. K přesným měřením se používá kompenzační metoda a jako normál napětí se používá Westonův článek. V poslední době se k těmto měřením využívají číslicové voltmetry.

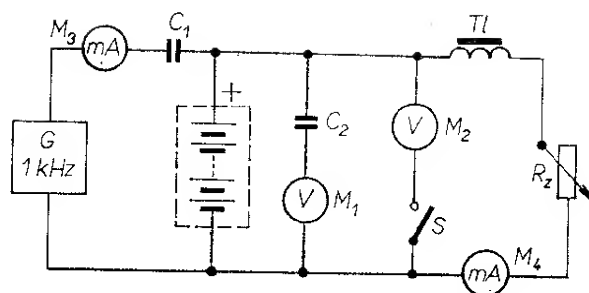
*Měření vnitřního odporu článku nebo akumulátoru.* Vnitřní odpor  $R_v$  se měří podle obr. 12. Voltmetrem s velkým vnitřním odporem změříme nejprve napětí naprázdno  $U_0$ . Pak sepneme spínač  $S$  a změříme svorkové napětí na zatíženém článku. Vnitřní odpor je

$$R_v = R(U_0 - U)/U,$$

kde  $R$  je zatěžovací odpor a  $U$  svorkové napětí zatíženého článku. Vnitřní odpor článků a akumulátorů není konstantní veličinou. Většinou nás zajímá jeho změna během vybíjení článků nebo akumulátoru. Během vybíjení se vnitřní odpor totiž zvětšuje, což má za



Obr. 12. Měření vnitřního odporu článku



Obr. 13. Měření impedance článku

následek zmenšení pracovního napětí (výjimku tvoří pouze stříbrozinkový akumulátor). S touto okolností je třeba počítat při návrhu elektronických přístrojů a jiných přístrojů, které jsou napájeny z elektrochemických zdrojů.

*Měření impedance.* Důležitou vlastností článků a akumulátorů je jejich impedance. Tato impedance se uplatňuje především tehdy, používáme-li je k napájení nebo jako součást elektronických obvodů. Impedance stejně jako vnitřní odpor se během vybíjení mění – proto je třeba znát alespoň dvě její různé velikosti, např. u plně nabitého článku nebo akumulátoru a ke konci vybíjení. Impedance se měří podle obr. 13. Měříme při zatížení běžným zatěžovacím proudem článku/k akumulátoru podle obr. 13 připojíme zdroj střídavého proudu o kmitočtu 1 kHz a střídavým voltmetrem zjistíme střídavou složku napětí. Z článku odebíráme přitom proud (stejnoseměrný) přes oddělovací tlumivku (proud do proměnné zátěže  $R_Z$ ). Střídavý voltmetr  $M_1$  musí mít co největší vnitřní odpor, aby měření bylo co nejpresnější. Oddělovací kondenzátor musí mít pro napětí měřicího kmitočtu co nejmenší impedanci. Zpravidla vyhoví voltmetr s vnitřním odporem větším než 5 000  $\Omega/V$  a kondenzátor o kapacitě alespoň 10  $\mu F$ . Odpor stejnosměrného voltmetru musí být též značný, při vlastním měření impedance je vhodné tento voltmetr odpojit. Střídavé napětí na svorkách článku nesmí být při měření větší než 5 % stejnosměrného napětí článku. Impedance  $Z$  článku je pak

$$Z = U_1/I,$$

kde  $U_1$  je údaj voltmetru  $M_1$  a  $I$  údaj miliampérmetru  $M_3$ . Střídavé napětí na svorkách článku lze upravit velikostí střídavého proudu, propouštěného kondenzátorem  $C_1$ .

**Měření kapacity.** Kapacita (značí se nejčastěji  $C$ ,  $K$  nebo  $Q$ ) článků a akumulátorů se určuje v ampérhodinách. Při jejím měření se článek nebo akumulátor vybíjí proudem, určeným zatěžovacím odporem. Současně se měří svorkové napětí. Zmenší-li se svorkové napětí pod mez, určenou výrobcem nebo normou jako charakteristické napětí pro vybitý stav, zjistíme čas vybíjení  $t$ . Z údajů svorkového napětí během vybíjení se určí průměrné svorkové napětí po celou dobu vybíjení. Výsledná kapacita článku je pak určena vztahem

$$Q = U_p t / R \text{ [Ah; V, h, } \Omega \text{];}$$

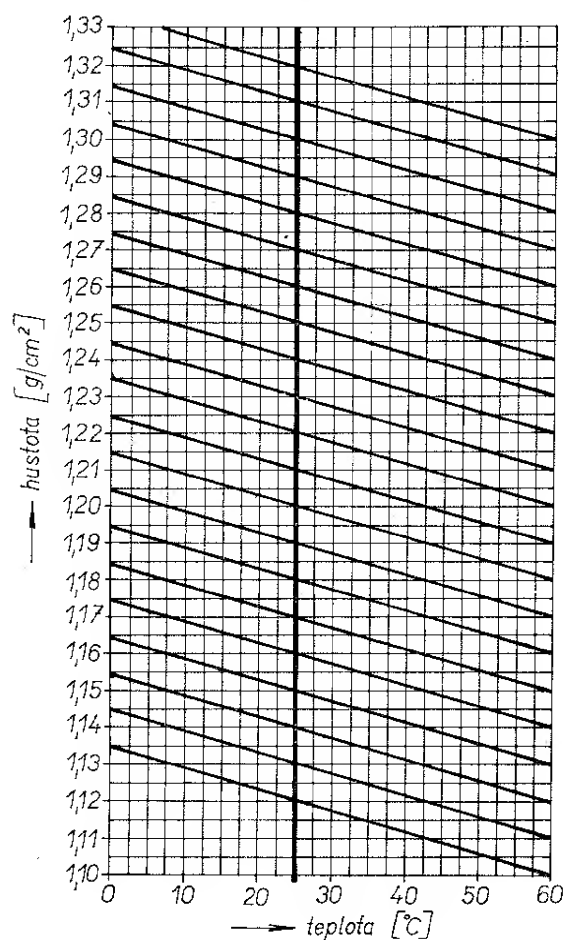
kde  $U_p$  je průměrné svorkové napětí,  $t$  doba vybíjení a  $R$  zatěžovací odpor.

Kapacita je vlastně nejdůležitějším parametrem všech článků a akumulátorů. Pokud nedojde k poškození (mechanickému) akumulátoru, je doba jeho života určena počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů, po které se jmenovitá kapacita nezmenší pod určenou hranici, což bývá obvykle 40 %. Je si ovšem třeba uvědomit, že kapacita všech chemických zdrojů je velmi proměnný parametr, závislý na nejrůznějších vnějších okolnostech; proto je údaj kapacity, který postrádá všechny podrobnosti o tom, jak byl měřen, nepřesný a nedostačující.

Kapacita udávaná výrobcem je vždy minimální zaručená velikost. Jak bylo podrobněji uvedeno u jednotlivých typů akumulátorů, závisí kapacita především na: stupni opotřebování, teplotě, hustotě elektrolytu, způsobu a zejména rychlosti vybíjení a nabíjení atd.

**Měření hustoty elektrolytu.** Hustota elektrolytu je určena obvykle číslem  $h$ . V literatuře je to většinou bezrozměrné číslo (kupodivu i v normách) ačkoli má rozměr  $\text{g/cm}^3$ . Hustota elektrolytu je závislá na teplotě, a proto je třeba při jejím přesném měření změřený údaj přepočítat na údaj, odpovídající

teplotě 25 °C, neboť pro tuto teplotu udává hustotu výrobce (ve většině případů). Vliv teploty na hustotu elektrolytu nelze zanedbat; pro snadnější výpočty je obvykle závislost hustoty na teplotě u nejpoužívanějších akumulátorů zpracována ve formě tabulek nebo grafů. Pro olověný akumulátor je graf měnící se hustoty zředěné kyseliny sírové  $\text{H}_2\text{SO}_4$  v závislosti na teplotě 0 až 60 °C na obr. 14.



Obr. 14. Graf závislosti vodného roztoku kyseliny sírové na teplotě

Složení a zředění elektrolytů všech známých akumulátorů je předepsáno v normách současně s minimálními nutnými požadavky na čistotu složek elektrolytů.

U olověných akumulátorů se hustota elektrolytu během nabíjení a vybíjení mění a je při známé hustotě na počátku

vybíjení např. i ukazatelem stavu akumulátorů, neboť se při vybíjení zmenšuje.

Hustotu měříme obvykle v nádobě mimo akumulátor. K měření se vyrábějí tzv. násavkové hustoměry (obr. 15). Jejich plovoucí část je cejchována přímo v hustotě elektrolytu. Někdy bývá stupnice hustoměru rozdělena na tři barevné oblasti s pokyny pro údržbu: akumulátor „správně nabit“, „zpola nabit“, „ihned nabijte“, a popřípadě i „zředit kyselinu“. Pro potřeby automobilistů mají některé malé hustoměry pouze toto barevné označení a stupnice ve stupních hustoty chybí. Ponorné hustoměry jsou různé konstrukce, na trhu byl i násavkový hustoměr se třemi malými barevnými kuličkami s různou měrnou vahou, jejichž poloha vůči hladině elektrolytu (pod ní nebo na ní) indikuje hustotu elektrolytu a tím i stav akumulátoru.

Předepsaná hustota pro startovací olověné akumulátory je 1,28, pro dopravní olověné akumulátory 1,24, pro staniční olověné baterie s velkoplošnými deskami 1,18. Pro mimořádné klimatické podmínky se obvykle předepisuje jiná hustota elektrolytu, než je běžně doporučovaná. Platí, že pro vyšší teploty má být hustota menší, pro nižší teploty (za mrazu) větší.

Upravujeme-li hustotu elektrolytu doléváním destilované vody, má její opětné měření smysl až po dokonalém promísení vody a elektrolytu. K promísení dojde samovolně při běžné teplotě asi po 12 hodinách. Promísení lze urychlit připojením akumulátoru k nabíječi; při nabíjení se elektrolyt s vodou důkladně promísí již asi za 10 až 15 min. U olověného akumulátoru není vhodné mísit vodu a elektrolyt mechanickými prostředky, neboť může snadno dojít k poškození desek.

U alkalických akumulátorů se hustota elektrolytu během vybíjení nemění. Proto nelze z hustoty elektrolytu určit stupeň nabití akumulátoru. Nicméně i u těchto akumulátorů je třeba hustotu kontrolovat a udržovat v mezích předepsaných výrobcem. Zmenší-li se hustota pod předepsanou mez (u běžných typů pod 1,16), je třeba neprodleně

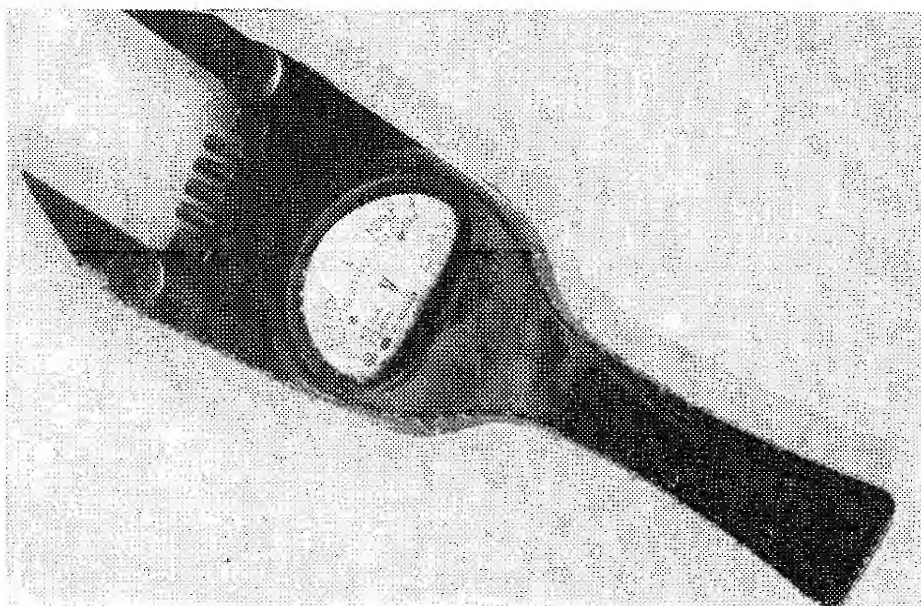
starý elektrolyt vylít a nahradit novým.

Na čistotě elektrolytu závisí do značné míry i doba života akumulátoru. Minimální čistota jednotlivých složek elektrolytu je předepsána normou ČSN 36 4350. Zvláště nebezpečné je znečištění elektrolytu kyselinou; uvádí se, že i malé množství kyseliny alkalický akumulátor zničí. Proto se nedoporučuje ani společné nabíjení, ani společná údržba olověných a alkalických akumulátorů.

*Startovací schopnost.* Startovací schopnost olověných akumulátorů se zjišťuje podle ČSN 36 4310 tzv. kontrolou rychlým vybíjením. Akumulátor se uvede do plně nabitého stavu a po skončení nabíjení se upraví hustota a výška hladiny ve všech článcích akumulátoru. Teplota elektrolytu má být na počátku vybíjení 25 °C. Pak se akumulátor nepřetržitě vybíjí konstantním proudem odpovídajícím trojnásobku jmenovité kapacity. Měří se doba, za níž se svorkové napětí akumulátoru zmenší na 4 V (pro akumulátor 6 V), popř. na 8 V (pro akumulátor 12 V). Akumulátor vyhovuje normě, je-li tato doba delší než 6 minut.

Protože startovací schopnost olověného akumulátoru, používaného v motorových vozidlech, je jeho nejdůležitější vlastností, používají se v praxi jednodušší metody měření startovací schopnosti. Běžné je např. zkoušení tzv. startovací zkušební vidlicí. Touto vidlicí je možné přezkoušet startovací schopnost akumulátoru během několika vteřin. Provedení vidlice je na obr. 16. Je to vlastně voltmetr (jehož stupnice má nulu ve středu) a odpor, paralelně připojený k vývodům voltmetru. Odpor zajišťuje po přiložení vidlice ke svorkám akumulátoru, že jím poteče proud asi 80 až 100 A. Voltmetrem pak měříme (zpravidla po jednom článku) napětí při zatížení. Stupnice voltmetru je opatřena tolerančními mezemi, v nichž se musí pohybovat výchylka ručky pro příslušný typ článku. Vidlici je třeba přitisknout co největším tlakem do olověných vývodů článků. Při měření kontrolujeme, zůstane-li ručka voltmetru v příslušném tolerančním poli alespoň 5 vteřin. Pak je článek v pořádku.

Obr. 16. Zkušební  
vidlice



*Zkouška doby života.* Tuto zkoušku dělá zpravidla pouze výrobce a amatéra zajímají pouze její výsledky. Akumulátor se opakovaně nabíjí a vybíjí předepsaným proudem a pravidelně se kontroluje jeho kapacita.

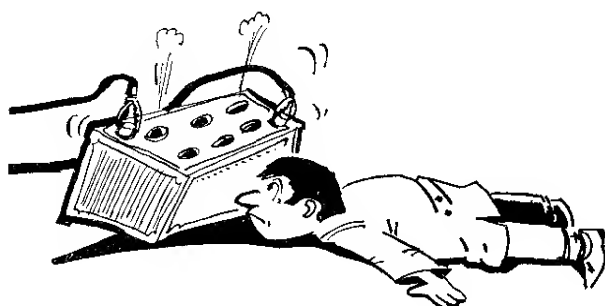
Pro olověné akumulátory platí podle ČSN tento postup: akumulátor se vybíjí jednu hodinu proudem 0,4 kapacity akumulátoru při teplotě 25 °C. Nabíjí se proudem čtyřikrát menším (tj. 1/10 kapacity) po dobu pěti hodin. Akumulátor se vybíjí a nabíjí samočinně speciálním zařízením, přičemž se teplota elektrolytu udržuje v mezích  $40 \pm 3$  °C. Nejméně jednou denně se kontroluje výška hladiny elektrolytu a upravuje se v případě potřeby doléváním destilované vody. Zkouška doby života se považuje za skončenou, zmenší-li se kapacita ve dvou po sobě jdoucích cyklech (vybíjecích) na 40 % původní velikosti. Doba života se udává počtem vybíjecích a nabíjecích cyklů.

Pro zkoušku doby života alkalických niklokadmiových článků platí podobné zásady; ty jsou specifikovány normou ČSN 36 4350. Alkalické články a akumulátory se vybíjejí po dobu dvou hodin proudem rovnajícím se 3/10 jmenovité kapacity a nabíjejí se po dobu čtyř hodin proudem 25/100 jmenovité kapa-

city. Teplota elektrolytu se udržuje v mezích  $33 \pm 3$  °C a hustota elektrolytu musí být v mezích 1,16 až 1,23. Nejpozději po 100 cyklech se elektrolyt vyměňuje. Zkouška doby života se považuje za skončenou, zmenší-li se kapacita článku nebo akumulátoru na 70 % jmenovité velikosti.

*Kontrola odolnosti proti přebíjení.* Při této kontrole se akumulátor několikrát za sebou přebíje a potom se zkouší jeho vlastnosti rychlým vybíjením.

U olověných akumulátorů se přebíjí proudem 1/10 jmenovité kapacity po dobu 100 hodin a čtyřikrát vybíjí proudem o trojnásobné velikosti jmenovité kapacity. Při čtvrté kontrolní zkoušce musí být vybíjecí doba nejméně 4 minuty. Vybíjecí dobou se rozumí doba, za níž se zmenší napětí akumulátoru 6 V na 4 V a akumulátoru 12 V na 8 V.





# Údržba akumulátorů a jejich drobné opravy

## Údržba olověných akumulátorů

Nejprve si popíšeme, co dělat se zcela novým akumulátorem. Nenecháme-li si upravit zcela nový akumulátor v odborné dílně, můžeme ho koupit ve stavu „suchý, nenabitý“, nebo „suchý, nabitý“ (viz dříve).

Chceme-li uvést akumulátor do pohotovostního stavu sami, popíšeme si nejprve, jak postupovat, je-li akumulátor „suchý, nenabitý“. U výrobků Pražské akumulátorky je třeba k plnění použít kyselinu sírovou o hustotě 1,26 (u výrobků jiných výrobců se tento údaj může mírně lišit). Teplota elektrolytu by se měla pohybovat asi mezi 15 až 25 °C. U startovacích akumulátorů má být hladina elektrolytu 5 mm nad horním okrajem separátorů (u typu N). Při vyšší hladině elektrolyt při nabíjení vystřikuje z plnicích otvorů. Výška hladiny se nejlépe zjistí ponořením na obou koncích otevřené skleněné trubičky do článku tak hluboko, až se její okraj dotkne desky separátoru. Pak horní konec trubičky uzavřeme, aby elektrolyt nemohl vytéci a výšku hladiny elektrolytu trubičky měříme po vytažení trubičky z článku.

Správně naplněný akumulátor je třeba nechat asi 3 až 5 hodin v klidu, aby kyselina pronikla dokonale do desek. Škodlivé je tuto dobu zkracovat i prodlužovat. Při předčasném nabíjení nejsou desky kyselinou dokonale prosyceny, prodloužíme-li uvedenou dobu, desky sulfatují. Před nabíjením zkontrolujeme teplotu elektrolytu, ta se může totiž v této fázi práce mírně zvýšit, nesmí však překročit 40 °C. Překročí-li teplota uvedenou hranici, je třeba akumulátor chladit. Měřit hustotu po naplnění akumulátoru elektrolytem není třeba a ani to není žádoucí, neboť hustota elektrolytu se v této fázi „formování“ akumulátoru mírně zmenšuje a bylo by chybou považovat to za nedostatek.

Před nabíjením je třeba ještě jednou překontrolovat hladinu elektrolytu a popřípadě elektrolyt doplnit, a to výhradně roztokem kyseliny s původní hustotou, tj. 1,26. Akumulátor nabíjíme s odšroubovanými zátkami plnicích otvorů. Proud pro první nabíjení předepisuje obvykle výrobce. Proud bývá poněkud větší než 1/20 kapacity akumulátoru. První nabíjení probíhá po dobu 50 hodin. Vždy je však třeba akumulátor nabíjet tak dlouho, až vykazuje znaky plného nabití, tj. hustota elektrolytu se musí zvětšit na 1,28 a dále se nesmí zvětšovat, napětí se ustálí na 2,7 až 2,8 V na článek a dále se též nezvětšuje. Ukončit první nabíjení dříve, než se projeví znaky plného nabití, se nedoporučuje.

Během nabíjení je třeba kontrolovat teplotu elektrolytu. Zvýší-li se teplota nad 40 °C, je třeba buď zmenšit nabíjecí proud, nebo chladit akumulátor vodní nebo vzduchovou lázní, popř. přerušit nabíjení. Uvádí se, že je však třeba alespoň prvních 16 hodin nabíjet akumulátor bez přerušení. Při přerušení nabíjení musíme počkat, až se teplota sníží pod 40 °C.

Po skončeném nabíjení musíme odpojit akumulátor od nabíječe a nechat ho asi 1/2 hodiny odplynovat.

Zakoupíme-li akumulátor ve stavu „suchý, nabitý“, bývá u tuzemských výrobců označen zeleným kroužkem s písmenem N, vtlačeným do zalévací hmoty akumulátoru. U těchto akumulátorů je třeba odstranit ze zátek těsnicí vložky, popř. odříznout odplynovací výstupky na zátkách. Akumulátor se totiž skladuje uzavřený proto, aby do něho nemohla vniknout vlhkost.

Akumulátor naplníme roztokem kyseliny sírové o hustotě 1,28 při teplotě 15 až 25 °C stejně jako v prvním případě (tj. hladina 5 mm nad okrajem separátorů). Elektrolyt necháme působit na desky po dobu asi 3 hodin (akumulátor je naplněný a v klidu). Způsob prvního nabíjení závisí v tomto případě na době, která uplynula od data výroby. Nebyla-li doba delší než 6 měsíců, nabíjíme akumulátor proudem pro zkrácené nabíjení (1/10 kapacity) po dobu



5 hodin. „Starší“ akumulátor nabíjíme běžným způsobem (jako při opakovaném nabíjení) až do znaků plného nabití. Opět jako v prvním případě dbáme na to, aby se teplota elektrolytu nezvýšila nad 40 °C. Po skončeném nabíjení necháme akumulátor v klidu asi 1/2 hodiny odplynout.

Roztok kyseliny s destilovanou vodou se připravuje v nekovových nádobách, nejlépe skleněných. Použijeme-li čistou kyselinu sírovou a ředíme-li ji destilovanou vodou, dbáme zásady (známé ze školy), že naléváme kyselinu do vody za stálého míchání, nikdy naopak. Při na-

lévání vody do kyseliny vzniká velké množství tepla a kyselina „stříká“.

V tab. 1 je naznačeno, jak lze dosáhnout potřebného roztoku kyseliny sírové pro plnění olověných akumulátorů. Chceme-li se této práci vyhnout, lze v odborných prodejnách zakoupit pod názvem „akumulátorová kyselina“ roztok kyseliny v koncentraci vhodné pro akumulátory do motorových vozidel.

Druhé a další nabíjení akumulátoru je pak součástí běžné údržby olověného akumulátoru, kterou spojujeme obvykle s pravidelnou mechanickou a elektrickou prohlídkou automobilu. Jak již

Tab. 1. Ředění roztoku kyseliny sírové destilovanou vodou na požadovanou hustotu

Hustota $H_2SO_4$ při teplotě 20 °C	A litrů $H_2SO_4$ teploty 20 °C a hustoty z prvního sloupce smíseno s B litrů destil. vody dává 100 litrů elektrolytu hustoty									
	1,18		1,20		1,24		1,26		1,285	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1,18	100	0								
1,19	94,5	5,7								
1,20	89,5	10,7	100	0						
1,21	84,9	15,3	95	5,1						
1,22	80,8	19,5	90,3	9,8						
1,23	77,0	23,3	85,1	14,1						
1,24	73,6	26,8	82,3	18,0	100	0				
1,25	70,4	30,1	78,7	21,7	95,7	4,4				
1,26	67,4	33,1	75,4	25,1	91,7	8,5	100	0		
1,27	64,7	35,9	72,4	28,1	88,0	12,3	96,0	4,1		
1,28	62,2	38,5	69,6	31,1	84,6	15,8	92,2	7,9		
1,29	59,0	40,9	66,9	33,7	81,4	19,1	88,8	11,5	98,1	1,9
1,30	57,7	43,1	64,5	36,3	78,4	22,1	85,5	14,8	94,6	5,6
1,31	55,6	45,2	62,2	38,6	75,6	25,0	82,5	17,9	91,2	9,0
1,32	53,7	47,2	60,1	40,8	73,2	27,7	79,7	20,9	88,1	12,3
1,33	51,9	49,0	58,1	42,9	70,6	30,2	77,0	23,6	85,1	15,3
1,34	50,3	50,7	56,2	44,8	68,3	32,5	74,5	26,2	82,4	18,1
1,35	48,7	52,4	54,4	46,6	66,2	34,7	72,2	28,6	79,8	20,8
1,36	47,2	53,9	52,8	48,3	64,2	36,8	70,0	30,8	77,4	23,3
1,37	45,8	55,3	51,2	49,9	62,3	38,8	68,0	33,0	75,1	25,7
1,38	44,5	56,7	49,8	51,4	60,5	40,6	66,8	35,0	72,9	27,9
1,39	43,3	58,0	48,4	52,9	58,8	42,4	64,1	36,9	70,9	30,0

bylo uvedeno, olověný akumulátor nesmíme skladovat ve vybitém stavu – proto ho nabíjíme bezprostředně po vybití. Zejména tehdy, slouží-li akumulátor jako zdroj např. pro nouzové osvětlení, v akumulátorových vozících k pohonu motoru, nebo při náročném provozu v motorovém vozidle (při častých startech v městském provozu) atd. Akumulátor vždy nabíjíme do znaků plného nabití (dále se nezvětšující napětí asi 2,8 V na článek, nezvětšující se hustota elektrolytu, zvýšené plynování).

Při nabíjení je třeba dodat do akumulátoru asi 130 % chybějící energie. Postup při nabíjení je asi tento:

1. Vyšroubovat zátky, zkontrolovat hustotu a hladinu elektrolytu, popř. doplnit elektrolyt destilovanou vodou;
2. Připojit akumulátor ke zdroji nabíjecího proudu;
3. Nabíjet akumulátor předepsaným proudem.

Obvyklé je, že se většinou nabíjí tzv. normálním proudem, tj.  $1/10$  kapacity akumulátoru. V literatuře se tato zásada značí stručně symbolickým vztahem  $I [A] = 0,1C$ . V novějších pokynech k nabíjení se doporučuje tzv. dvoustupňové nabíjení, tj. zpočátku se akumulátor nabíjí proudem poněkud větším, než je jmenovitý, asi  $0,12C$ . Tento první stupeň bývá ohraničen začátkem plynování, přesněji zvětšením svorkového napětí článku na 2,4 V. Při dalším nabíjení se má nabíjecí proud mírně zmenšit asi na  $0,06C$ . Tímto proudem se pak nabíjí akumulátor až do znaků plného nabití. Při nabíjení nesmí teplota elektrolytu překročit v žádném případě  $40^\circ\text{C}$ .

4. Dosažením znaků plného nabití se pokládá akumulátor za nabitý. Odpojí se od nabíječe a nechá v klidu půl hodiny odplynovat.
5. Zašroubují se zátky (po předchozí kontrole jejich průchodnosti pro ply-



ny), osuší se vývody a celý akumulátor a přípojný vývody se pokryjí tenkou vrstvou vazelíny.

### Udržovací nabíjení a samovolné vybíjení

I u dobrého akumulátoru dochází vždy k samovolnému vybíjení. Samovolným (vnitřním, vlastním) vybíjením ztrácí dobrý akumulátor celý náboj asi za tři měsíce; je-li jeho elektrolyt znečištěn, samovybíjecí pochod se zrychluje. Byl-li akumulátor uveden do provozu, a potřebujeme-li ho delší dobu skladovat, je ho třeba trvale dobíjet nabíjecím proudem asi  $0,0006$  až  $0,001C [A]$ . Při tomto ošetření je akumulátor stále připraven k použití a je současně i odolný vůči mrazu. Skladujeme-li akumulátor déle než šest měsíců, je třeba akumulátor každých šest měsíců vybit a nabít běžným nabíjecím a vybíjecím proudem. Pokud jsme však z nějakých důvodů odstavili svoje motorové vozidlo na delší dobu, doporučuje se akumulátor z vozidla vyjmout a jednou za dva měsíce ho zcela vybit a nabít běžnou metodou.

### Sulfatace

Jak již bylo uvedeno, je sulfatace tvoření síranu olovnatého, který zhoršuje vlastnosti akumulátoru. Sulfatace je částečně vratný jev, který vzniká při vybíjení nebo trvalém vybití a částečně mizí při nabíjení. Všechny síran olovnatý však nabíjením nezmizí. Jemné krystaly se přetvářejí na větší a ty velmi zhoršují vlastnosti akumulátoru. K maximální sulfataci desek dochází při nedobíjení nebo necháme-li akumulátor delší dobu ve vybitém stavu, dále tehdy, je-li hladina elektrolytu nižší, než je předepsáno, popř. i tehdy, zmenší-li se svorkové napětí akumulátoru při tzv. hlubokém vybíjení pod dovolenou mez, tj. pod 4 V u akumulátoru 6 V, a pod 8 V u akumulátoru 12 V. Tvoření síranu olovnatého se podporuje vybíjením akumulátoru velkými proudy (i nabíjením velkými proudy), větší hustotou elektrolytu a jeho znečištěním (zvětšuje se samovolné vybíjení).

Hlavními příznaky zvětšené sulfatace jsou:

- zmenšení výkonu (kapacity) akumulátoru,
- plynování článků brzy po zahájení nabíjení,
- zvětšené svorkové napětí a zvětšená teplota při nabíjení.

Nepřekročí-li sulfatace určitou mez, lze ji odstranit několika způsoby:

- opakovaným nabíjením malým proudem (asi 0,05 až 0,025C). Nabíjet se musí bez ohledu na dobu nabíjení až do znaků plného nabití;
- dobíjením s přestávkami (používá se především u tzv. staničních akumulátorů a baterií). Po nabití akumulátoru se udělá hodinová přestávka. Akumulátor se pak dále nabíjí, dokud nedojde k bouřlivému vývinu plynů na deskách. Následuje opět hodinová přestávka a akumulátor se znovu nabíjí. Pokračuje se tak dlouho, dokud se plyn na deskách nevyvíjí ihned po připojení akumulátoru k nabíječi;
- u značně zanedbaných akumulátorů je nutno starý elektrolyt vylít a nahradit ho destilovanou vodou. Akumulátor pak nabíjíme proudem o velikosti 0,02C až do značného vývinu plynů; to může trvat až několik dnů. Zvětší-li se současně napětí článku asi na 2,5 V, lze vodu vylít a okamžitě naplnit akumulátor čerstvým elektrolytem o hustotě 1,28. Pak se akumulátor nabíjí běžným způsobem až do znaků plného nabití.

Síran olovnatý (sulfát) lze odstranit i chemickými přípravky, z nichž některé jsou i na našem maloobchodním trhu. Tyto prostředky mají jednu společnou nevýhodu – při jejich používání je třeba články proplachovat několikrát za sebou destilovanou vodou, přičemž může snadno dojít k jejich mechanickému poškození. Pevné částičky kalu, usazené na dně akumulátoru, zůstanou totiž mnohdy „viset“ v separátorech a způsobují buď zvětšení samovolného vybíjení, nebo i zkratky mezi zápornými a kladnými deskami.

Na závěr článku o sulfátech je třeba podotknout, že vlastní dobu života aku-

mulátoru nelze desulfatizací akumulátoru, který je již na samé hranici doby života, podstatně prodloužit.

### Další závady olověných akumulátorů

Mezi závady olověných akumulátorů patří i zkratky mezi deskami. Jejich příčinou může být (kromě popsané při desulfataci) deformace desek mechanickými nárazy, popř. deformace desek velkými nabíjecími a vybíjecími proudy. Je-li vadná jen malá část akumulátoru, popř. jen jeden článek, lze akumulátor opravit výměnou vadného článku za nový. Amatérské opravy se v tomto případě nedoporučují.

Vytéká-li elektrolyt trhlinkami v zalévací hmotě, je nutné zalévací hmotu odstranit a nahradit ji novou. Oprava pouhým rozehríváním staré zalévací hmoty nemá cenu. Poškodí-li se celý pryžový blok akumulátoru, je nutno přemístit jednotlivé články do bloku nového.

Častou mechanickou závadou jsou utržené nebo jinak poškozené vývody článků a akumulátoru. Jde-li o malé poškození, lze nové vývody vylít do provizorní formy (přímo na článku nebo akumulátoru) tekutým olovem. Ovšem vždy se vyplatí (především při větším poškození) svěřit opravu odborné dílně.

### Alkalický akumulátor

Alkalické akumulátory nevyžadují takovou péči, jako akumulátory olověné. Nevadí jim, jsou-li dlouhodobě ve vybitém stavu a nedochází u nich k jevu, podobnému sulfataci. Jejich samovolné vybíjení je asi dvakrát pomalejší, než u olověných akumulátorů. Alkalický akumulátor se vybije samovolně asi za 1/2 roku. Průběh vnitřního vybíjení je nelineární. Nejrychleji ztrácí náboj plně nabitý akumulátor, který asi po 1 až 2 měsících ztratí až 80 % náboje, další vnitřní vybíjení je již nepatrné. K udržovacímu nabíjení (je-li nutné z důvodů mobilnosti a připravenosti akumulátoru) stačí proud asi 0,0002 až 0,0006C [A].

Elektrolytem u alkalických akumulá-

Tab. 2. Příprava vodného roztoku hydroxidu draselného nebo sodného pro elektrolyt alkalických akumulátorů

Roztok hustoty v [g/cm <sup>3</sup> ]	odpovídá hustotě v [°Bé]	hydroxid draselný			hydroxid sodný		
		obsahuje [g/l]	[%]	el. odpor [Ω]	obsahuje [g/l]	[%]	el. odpor [Ω]
1,150	19	203	17	2,25	155	13	2,89
1,20	24	269	22	1,95	213	18	2,94
1,250	29	338	27	1,84	281	22	3,35
1,30	33	398	31	1,86	344	26	4,15
1,350	38	487	36	1,98	419	31	5,42
1,40	41	543	39	2,21	532	38	7,09
1,450	45	631	43	2,51	610	42	8,95

torů je vodný roztok alkalického louhu, tj. hydroxidu sodného nebo draselného, k němuž se přidává někdy hydroxid lithný. Optimální složení elektrolytu pro různé podmínky je v tab. 2. Roztok se připravuje rozpouštěním tuhého hydroxidu v destilované vodě. Hydroxid se prodává ve formě tyček nebo čoček, v hygroskopicky uzavřených plechovkách. Jeho roztok je vůči pokožce silně agresivní, rychle ji leptá. Při potřísnění pokožky roztokem louhu je okamžitě třeba místo potřísnění opláchnout vodou a zbytky louhu neutralizovat např. octem nebo 2% roztokem kyseliny borité. Proto se doporučuje při manipulaci s louhem používat zásadně pryžové rukavice. Při rozpouštění hydroxidu v destilované vodě vzniká značné množství tepla a plynů. Na teplo je třeba dbát především při používání skleněných nádob.

Vhodná váhová množství pevného hydroxidu k dosažení roztoku určité hustoty lze zjistit z tabulek, které obvykle poskytuje i výrobce.

Elektrolyt se vyměňuje, zmenší-li se jeho hustota pod výrobcem předepsanou mez. Jinak se má elektrolyt vyměňovat vždy jednou za rok, nebo po 100 nabíjecích cyklech. Při výměně elektrolytu se postupuje takto:

1. Akumulátor se vybijí běžným vybíjecím proudem do napětí 1 V na článek. Je-li kapacita jednotlivých článků různá, je třeba akumulátor rozpojit na jednot-

livé články a ty pak vybijet každý zvlášť.

2. Články akumulátoru se rozpojí, každý článek se důkladně „protřepe“ a elektrolyt se vylije.

3. Každý článek se ihned třikrát až pětkrát vypláchne destilovanou vodou nebo starým elektrolytem, zbaveným nečistot přelitím přes filtrační papír.

4. Ihned po vypláchnutí se do článků nalije nový elektrolyt. V žádném případě nemají články zůstat suché po delší dobu.

5. Po nalití elektrolytu necháme články nejprve asi dvě hodiny v klidu. Články spojíme do původní sestavy a kontrolujeme správnou hladinu elektrolytu.

6. Akumulátor nabijeme běžným nabíjecím proudem; nabíjíme tak, abychom dodali náboj o velikosti asi 300 % jmenovité kapacity (akumulátor tedy nabíjíme, i když vykazuje znaky plného nabíjení).

7. Po odpojení nabíječe necháme akumulátor ještě asi 4 až 5 hodin odplynovat. Zkontrolujeme hladinu elektrolytu a články uzavřeme zátkami. U starších článků je obvykle třeba vyměnit pryžové těsnění zátek.

Alkalické akumulátory se dodávají převážně formované, s elektrolytem a s nábojem zmenšeným o samovolné vybíjení.

Při běžném nabíjení vybitých alkalických akumulátorů dodáváme asi 150 % odebrané kapacity v Ah. Při nabíjení zejména dbáme několika zásad:

1. Akumulátor očistíme od prachu, soli a jiných nečistot, utáhneme spojky mezi články.

2. Odšroubujeme zátky a zkontrolujeme výšku a stav elektrolytu.

3. Akumulátor připojíme k nabíječi a nabíjíme doporučeným proudem. (Obvykle 0,25 nebo 0,2C [A]). Nabíjíme až do konečných znaků nabití. Během nabíjení dbáme, aby teplota elektrolytu nebyla vyšší než 40 °C. Blíží-li se teplota elektrolytu této hranici, akumulátor chladíme a nestačí-li chlazení, nabíjení přerušujeme, případně zmenšujeme nabíjecí proud.

4. Po skončeném nabíjení necháme akumulátor čtyři až pět hodin odplynovat, zkontrolujeme stav elektrolytu, zašroubujeme zátky a akumulátor je pohotově k použití.

Alkalické akumulátory lze nabíjet i urychleně a tzv. „zesíleným“ nabíjením. Urychlené nabíjení má dva stupně, nejdříve se akumulátor nabíjí proudem asi 0,4C po dobu asi 2 1/2 hodiny a pak se dobíjí zmenšeným proudem po dobu 2 hodin (asi 0,1C v [A]). Urychlené nabíjení zkracuje dobu života akumulátoru a doporučuje se pouze výjimečně.

„Zesílené“ nabíjení je nabíjení běžným proudem 0,1C na 200 % jmenovité kapacity akumulátoru. Tím vlastně akumulátor krátce přebíjíme. „Zesílené“ nabíjení se doporučuje po každých deseti nabíjecích a vybíjecích cyklech a při uvádění nového akumulátoru do provozu.

U akumulátorů, které byly delší dobu vybity k nule, se doporučuje prodloužené nabíjení běžným proudem 0,1C na 300 % jmenovité kapacity akumulátoru.

Nejčastější závadou alkalického akumulátoru je ztráta kapacity nahromaděním uhličitanu draselného nebo sodného v elektrolytu. Výměnou elektrolytu a novým nabitím se kapacita plně obnoví.

Při vybíjení akumulátoru pod dovolenou mez až k nule se mnohdy článek akumulátoru, který měl menší kapacitu než ostatní články, nabije na opačnou polaritu (přepóluje). Článek je pak třeba nejprve nabít správným proudem

na správnou polaritu a teprve potom nabíjet celý akumulátor.

Z mechanických vad alkalických akumulátorů jsou nejčastější deformace stěn nádoby, kdy se celá stěna vyduje a dochází ke zkratům mezi deskami. Příčinou může být vadná zátka nebo záklopka, uzavřený akumulátor při nabíjení, nebo jeho předčasné uzavření ihned po konci nabíjení.

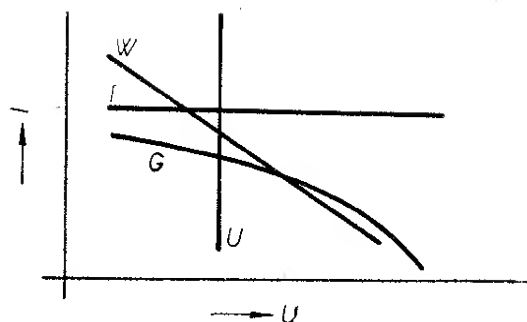
## Nabíjení akumulátorů – všeobecné zásady

Postup při nabíjení jednotlivých typů akumulátorů byl popsán v kapitole o údržbě akumulátorů. V této kapitole si probereme zásady, které jsou platné pro všechny druhy a typy akumulátorů, a z nichž budeme vycházet při návrhu nabíječů.

Charakteristikou nabíječe rozumíme závislost mezi výstupním nabíjecím proudem a napětím. Na obr. 17 je několik charakteristik, které se obvykle používají).

Pozn. V předpisech pro nabíjení akumulátorů a v odborných elektrochemických publikacích se často používají zkratky, označující typ nabíjecí charakteristiky. Zkratky nejsou u nás normalizovány, přesto se značení podle VDE vžil: nabíječ, pracující jako zdroj konstantního proudu (tzn. se stálým nabíjecím proudem) se označuje jako nabíječ I, nabíječ jako zdroj konstantního napětí se označuje U, nabíječ se zmenšujícím se výstupním proudem (jev, charakteristický pro odporové omezení proudu) se označuje zkratkou W, samočinné vypínání (časové nebo spínacími hodinami, popř. odvozené od svorkového napětí akumulátoru) se označuje zkratkou a, samočinné přepínání nabíječe na jinou charakteristiku se označuje o. Předepsané dvoustupňové nabíjení olověného akumulátoru se tedy podle uvedeného značení zkráceně запиše IoIa. Nabíjíme-li akumulátor nabíječem se zmenšujícím se napětím při nabíjení, zapisuje se stejné dvoustupňové nabíjení zkratkou WoWa.

Charakteristika označená U je typická pro tzv. napětový zdroj nebo také pro zdroj s konstantním napětím. Takový zdroj se vyznačuje malým výstupním vnitřním odporem. Výstupní napětí tohoto zdroje je konstantní a nezávisí na odběru proudu. To platí samozřejmě o odběru proudu do určité meze. Výstupní napětí zdroje musí být tak velké, aby odpovídalo svorkovému napětí plně



Obr. 17. Charakteristiky nabíječů

nabitého akumulátoru. Protože je však svorkové napětí u různých druhů akumulátorů různé, je vhodné, když lze velikost výstupního napětí zdroje plynule měnit.

Po připojení vybitého akumulátoru ke zdroji s napěťovou charakteristikou protéká akumulátorem značně velký proud. Tento proud se v průběhu nabíjení zmenšuje a při nabití akumulátoru kryje pouze ztráty, vzniklé vnitřním vybíjením akumulátoru. Z uvedeného vyplývá nejvhodnější využití těchto zdrojů – jsou vhodné k nabíjení akumulátorů, které snášejí velké proudy při počátku nabíjení, a vůbec nejvhodnější jsou k trvalému dobíjení akumulátorů, u nichž nedochází k velkému zmenšení svorkového napětí. Při tomto použití zdrojů s charakteristikou  $U$  je však třeba dbát, aby zdroj nepřebíral funkci akumulátoru. Splnění této podmínky lze zajistit tak, že v určité oblasti přejde napěťová charakteristika na charakteristiku proudovou. Nabíjíme-li několik akumulátorů o stejném svorkovém napětí (při nabití), řadíme tyto akumulátory paralelně.

Charakteristiku tvaru  $U$  má např. transformátor (dostatečně výkonově dimenzovaný), na jehož sekundární straně je usměrňovač. Kolísání síťového napětí je však často tak značné, že bez předstabilizace nebo zařazení sériového odporu riskujeme zničení akumulátoru. Proto se používají zdroje s elektronickým řízením výstupního napětí. Tyto zdroje jsou doplněny obvody, které nedovolí překročit při nabíjení kritický proud a které se po dosažení potřebného napětí (tj. jmeno-

vitého napětí nabíjeného akumulátoru) samočinně odpojí. Výhodou těchto zdrojů je krátká nabíjecí doba. Velký počáteční proud sice obvykle ohřeje elektrolýt, během nabíjení se však teplota snižuje, neboť se zmenšuje i nabíjecí proud.

Křivka, na obr. 17 označená  $I$ , charakterizuje tzv. ideální proudový zdroj. Tento zdroj má velký vnitřní odpor a jeho výstupní proud se nemění při libovolném výstupním napětí. U nabíjecího přístroje s touto charakteristikou se tedy výstupní proud nemění, připojíme-li k jeho výstupu akumulátor 6 nebo 12 V, popř. dáme-li jeho výstupní svorky do zkratu. Výhody nabíječů s touto charakteristikou jsou:

- zkratuvzdornost;
- jednoduché zjištění energie dodané akumulátoru, neboť stačí vynásobit nastavený výstupní proud dobou nabíjení;
- při nabíjení článků nebo akumulátorů v sérii není nutno nastavovat a upravovat nabíjecí proud, a to ani tehdy, připojují-li se nebo odpojují-li se další akumulátory;
- k ovládání nabíječe lze použít časové spínače;
- není třeba používat ampérmetr, je-li regulátor nebo přepínač ocejchován v hodnotách výstupního proudu nabíječe.

Nevýhodou je (především u některých druhů akumulátorů) nutnost nastavovat především v závěru nabíjení jiný proud, než jaký byl na počátku nabíjení, popř. po celou dobu nabíjení nabíjet akumulátory tím proudem, jakým mají být nabíjeny až ke konci nabíjení – to pak prodlužuje celkovou nabíjecí dobu.

Charakteristika, označená na obr. 17 písmenem  $W$ , se vyznačuje tím, že se zvětšujícím napětím se zmenšuje úměrně proud. Této charakteristiky se u většiny nabíječů dosahuje tím, že se do primárního nebo sekundárního obvodu síťového transformátoru zařazuje nějaká impedance. Nabíječe s charakteristikou  $W$  jsou vhodné pro rychlé nabíjení, avšak různé druhy akumulátorů vyžadují pro optimální nabíjení různý sklon charakteristiky. Chceme-li proto,

aby nabíječ vyhovoval k nabíjení několika druhů akumulátorů, musíme při jeho konstrukci pamatovat na přepínání odboček transformátoru a sériové impedance. Nabíjení s nabíječem s charakteristikou W vyžaduje větší dohled, než s nabíječem s charakteristikou I. Další nevýhodou těchto nabíječů je nebezpečí zvětšení nabíjecího proudu, má-li některý nabíjený člunek nebo akumulátor zkrat (je-li nabíjeno více článků nebo akumulátorů v sérii). Měřicí přístroje a kontrola během nabíjení jsou tedy nezbytné předpoklady při použití nabíječů s charakteristikou tvaru W.

Některé nabíječe jsou doplněny časovými spínači, jimiž lze volit dvou nebo vícestupňové nabíjení. Po určité době lze tedy měnit nabíjecí proud nebo i charakteristiku nabíječe. Používají se též nabíječe, které pravidelně po určité době odpojí nabíjený akumulátor, počkají, až se ustálí poměry v čluncích, změří svorkové napětí a určí a samočinně nastaví další režim nabíjení. Tyto přístroje značně zkracují dobu nabíjení a zaručují optimální průběh nabíjení. Často bývají doplněny i měřičem teploty elektrolytu a měřičem tlaku akumulátorových plynů. Jde vždy zásadně o relativně velmi složité přístroje, které najdou uplatnění pouze ve specializovaných provozech. Perspektivně se předpokládá

jejich používání i při nabíjení akumulátorů do motorových vozidel.

### Transformátor

Základní součástí většiny nabíječů je transformátor, který plní několik funkcí. Kromě úpravy síťového napětí na napětí, potřebné k usměrnění, má za úkol také chránit obsluhu nabíječe před úrazem elektrickým proudem, odděluje galvanicky místa možného dotyku od síťového napětí. Protože nabíječe bývají obvykle v prostředí se zvětšenou chemickou agresivitou a vlhkostí, a navíc i bez trvalého dohledu, je zhotovení transformátoru třeba věnovat zvýšenou pozornost.

S ohledem na bezpečnost obsluhy nemívají transformátory obvykle sekundární napětí větší než 60 V. Proud, odebíraný ze sekundárního vinutí, bývají obvykle v mezích desítek miliampér až desítek ampér. Pro běžné nabíječe vystačíme s maximálním sekundárním proudem 10 A.

#### Návrh transformátoru

O přesném návrhu transformátorů pojednává mnoho publikací, např. [2], [4]. My se zaměříme na jednoduchý výpočet a na typy transformátorů, které se v nabíječích používají nejčastěji. Ke zhotovování transformátorů se dnes nejčastěji používají plechy EI, proto se za-

Tab. 3. Údaje k výpočtu transformátorů

Požadovaný výkon [W]	Typ plechů	Výška svazku [mm]	Závitů/1 V (plechy tl. 0,5 mm)	Plocha pro vinutí [cm <sup>2</sup> ]
8	EI20	16	14,8	2,34
10	EI20	20	11,85	2,34
20	EI25	20	9,58	3,63
40	EI25	25	7,66	3,63
60	EI32	25	5,92	6,25
100	EI32	32	4,64	6,25
150	EI40	32	3,69	9,55
200	EI40	40	2,96	9,55
350	EI50	40	2,37	15,4
500	EI50	50	1,89	15,4



měříme pouze na tento druh plechů.

Při návrhu vycházíme z maximálního výkonu transformátoru na jeho sekundární straně, tj. ze součinu efektivní hodnoty požadovaného napětí a z odebíraného proudu. Z tabulky 3 zjistíme vhodnou velikost jádra pro transformátor. Dále určíme počet závitů na 1 V a spočítáme počet závitů primárního a sekundárního vinutí. S ohledem na účinnost transformátoru odečteme od počtu primárních závitů asi 3 % a na sekundární straně asi 5 % závitů přidáme. Pak bude tedy počet závitů primárního vinutí

$$N_1 = \left( U_p \frac{z}{1 \text{ V}} \right) \cdot 0,97$$

a počet závitů sekundárního vinutí

$$N_2 = \left( U_s \frac{z}{1 \text{ V}} \right) \cdot 1,05.$$

kde  $N_1$  je počet závitů primárního vinutí,

$N_2$  počet závitů sekundárního vinutí,

$z/1 \text{ V}$  počet závitů na 1 V (určíme z tab. 3),

$U_p$  napětí sítě,

$U_s$  napětí sekundárního vinutí.

Zjištěný požadovaný výkon dělíme účinností transformátoru, která bývá v rozmezí 80 až 90 %, čímž určíme příkon transformátoru. Příkon transformátoru je tedy

$$P_p = (1/\eta) P_s = I_s U_s / \eta,$$

kde  $P_p$  je příkon transformátoru (primární strana transformátoru);

$P_s$  výkon transformátoru (sekundární strana);

$\eta$  účinnost, je větší u větších a menší u menších transformátorů, obvykle se počítá s účinností 0,8 až 0,9;

$I_s$  maximální efektivní proud sekundárním vinutím;

$U_s$  efektivní sekundární napětí transformátoru.

$$I_p = P_p / U_p,$$

význam symbolů je shodný jako u předchozích rovnic.

Tab. 4. Dráty CuL pro transformátor

Průměr drátu [mm]	Proud $I$ při proudové hustotě 2,5 A/mm <sup>2</sup>	Průměr drátu [mm]	Proud $I$ [A] při proudové hustotě 2,5 A/mm <sup>2</sup>
0,15	44 mA	1	1,96
0,18	64 mA	1,1	2,4
0,2	79 mA	1,2	2,8
0,22	95 mA	1,3	3,3
0,25	123 mA	1,4	3,9
0,3	177 mA	1,5	4,4
0,35	241 mA	1,6	5
0,4	314 mA	1,7	5,7
0,45	398 mA	1,8	6,4
0,5	0,5 A	2	7,9
0,6	0,7 A	2,2	9,5
0,7	0,96 A	2,5	12,3
0,75	1,1 A	2,8	15,4
0,8	1,25 A	3	17,7
0,9	1,6 A		

V tab. 4 zjistíme průměry drátů pro obě vinutí ( $\varnothing_1$  a  $\varnothing_2$ ). Vychází-li z výpočtu průměr drátu, který není uveden v tabulce, volíme drát většího průměru (s ohledem na trvalý provoz nabíječe, neboť při větším průměru drátu se zmenšují ztráty vznikající v odporu mědi a zmenšuje se i ohřev drátu a celého transformátoru). K vinutí používáme většinou dráty izolované lakem.

Dále je třeba zjistit, je-li možno transformátor se zvolenými dráty a počty závitů realizovat. Postupujeme tak, že vy počítáme součin  $N_1 \varnothing_1^2 + N_2 \varnothing_2^2$ , součet obou součinů by neměl být větší, než 50 % plochy pro vinutí, kterou zjistíme z tab. 3. Je-li součet větší, je třeba volit větší jádro a výpočet zopakovat.

Mezi primární a sekundární vinutí a mezi jednotlivé vrstvy vinutí je třeba vkládat transformátorový papír nebo lepenku a to takové tloušťky (nebo tolik vrstev), aby nemohlo dojít k průrazu. Po navinutí a vyzkoušení je třeba transformátor dokonale vysušit v suchém

prostředí při teplotě asi 80 až 100 °C a poté ho máčet v impregnační lázni. Lze použít vosk T100 nebo namáčecí vypalovací transformátorový lak. Touto úpravou se zlepši izolační vlastnosti transformátoru, zamezí se jeho navlhání, fixuje se poloha drátů vinutí a zlepšuje se přechod tepla z vinutí na povrch transformátoru.

### Usměrňovače

Nyní se k usměrňování používají výhradně křemíkové prvky. Přehled diod, tyristorů a triaků s jejich údaji lze najít v katalogu TESLA Rožnov.

Rozměr usměrňovacích prvků je většinou relativně velmi malý. Proto je obvykle třeba zvětšit jejich povrch, který odvádí teplo do okolí, vhodným chladičem. Průchodem proudu polovodičovým přechodem vzniká na přechodu napětí, dosahující až 1,1 V. Maximální ztráta na přechodu je tedy

$$P_{\max} = U_{AK}I,$$

kde  $U_{AK}$  je úbytek napětí na přechodu usměrňovacího prvku,  
 $I$  proud, protékající diodou, nebo jiným usměrňovacím prvkem.

Při jednocestném usměrnění je proud  $I$  roven velikosti maximálního požadovaného proudu nabíječe, při můstkovém usměrnění je proud  $I$  rovný polovině požadovaného maximálního proudu.

Plochu chladiče lze vypočítat ze vztahu

$$S = P_{\max}(t_1 - t_2)\delta,$$

kde  $S$  je plocha chladiče v  $\text{cm}^2$ ,  
 $P_{\max}$  maximální ztráta ( $1,1I$ ),  
 $t_1$  teplota chladiče (volíme v rozmezí 75 až 90 °C),  
 $t_2$  maximální teplota okolí (asi 35 °C),  
 $\delta$  ochlazovací konstanta (0,001 až 0,00065  $\text{W}/\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), konstanta vyjadřuje množství tepla, odvedené z jednotkové plochy chladiče do okolí při rozdílu teplot 1 °C.

### Nabíječe akumulátorů s odporovým omezením proudu

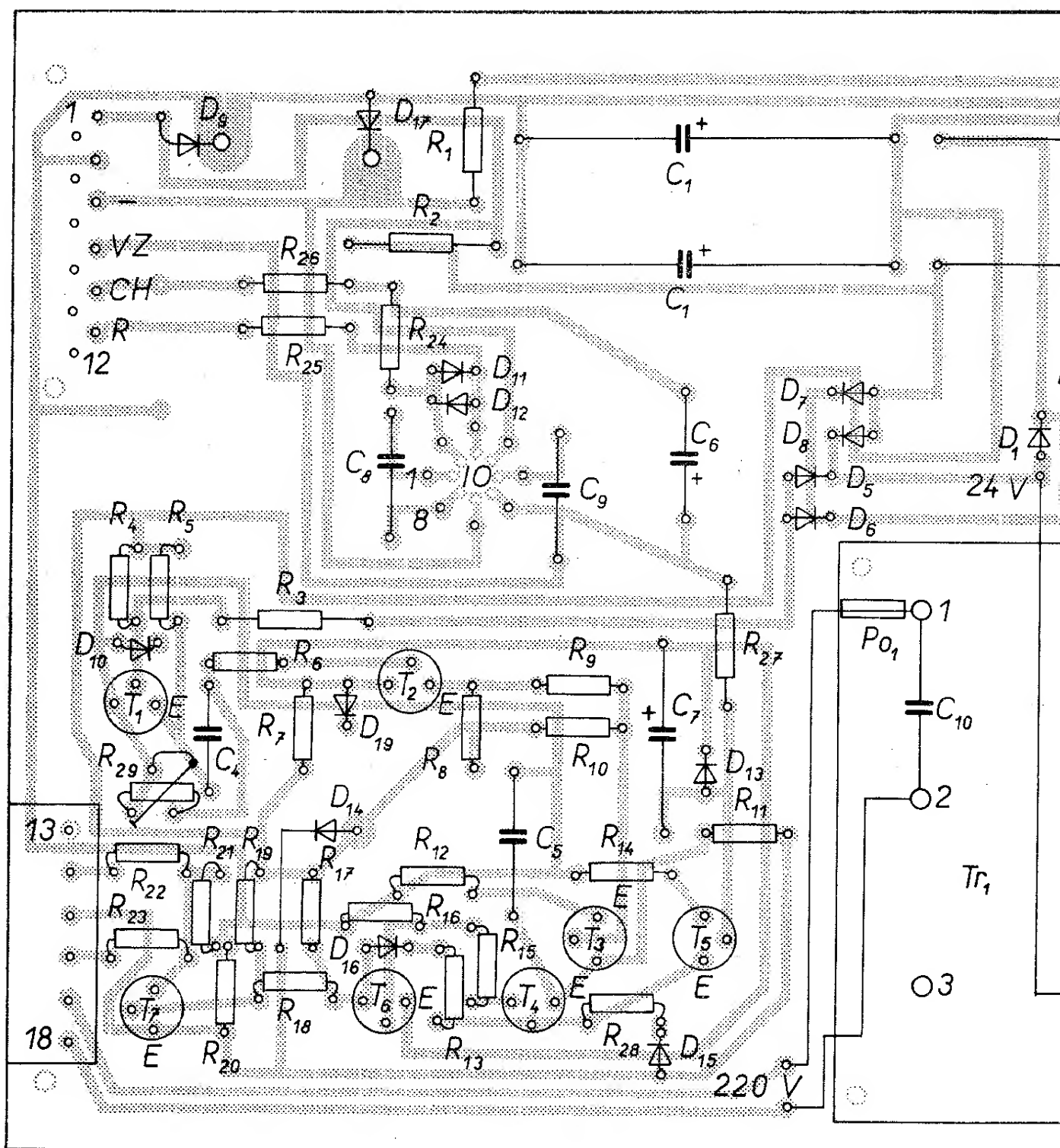
Jak již bylo řečeno, musí konstrukce nabíječe vycházet z typu akumulátoru, který chceme nabíjet. Mezi nejjednodušší typy nabíječů patří nabíječe s charakteristikou  $W$  (obr. 17), u nichž je dosaženo potřebného sklonu charakteristiky odporem, zařazeným do primárního nebo sekundárního obvodu transformátoru. Nabíječ se potom skládá z těchto základních dílů:

- z transformátoru,
- z odporu,
- z usměrňovače.

Zda zařadíme odpor do primárního nebo sekundárního obvodu je z hlediska celkové funkce rovnocenné, pokaždé to však bude samozřejmě odpor jiný, jeho hodnota se musí přepočítávat podle převodu transformátoru. Skutečný transformátor si však musíme představit jako ideální transformátor s určitým sériovým odporem – ten je dán zčásti činným odporem drátu vinutí a zčásti impedancí, vznikající ztrátami v železe a rozptylem. Některé konstrukce této vlastnosti transformátoru využívají a jednoduchý nabíječ se pak skládá pouze z transformátoru a usměrňovače.

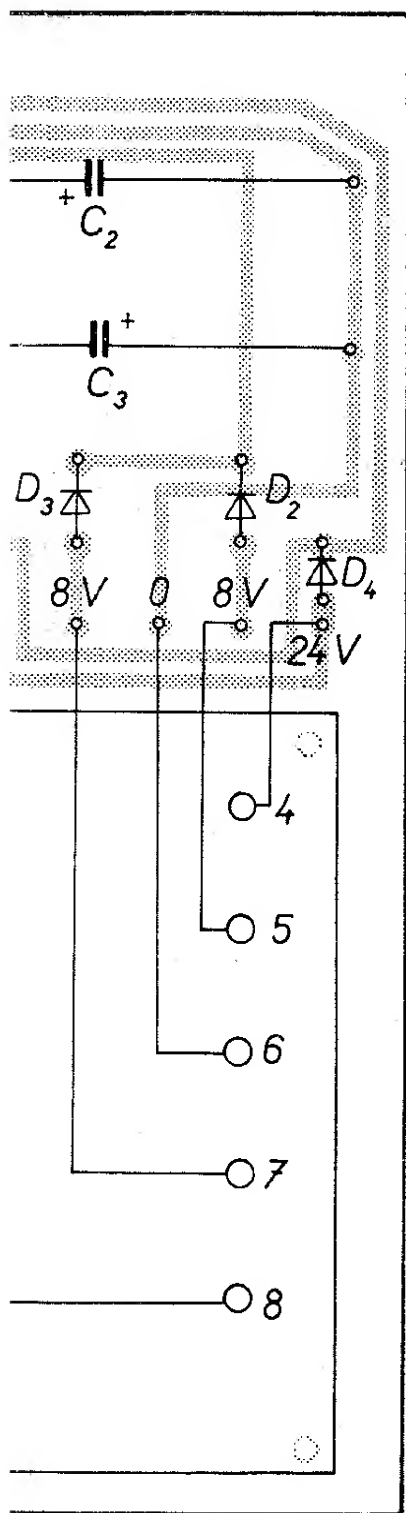
Mezi nabíječe s odporovým omezením proudu lze přiřadit i nabíječe, obsahující proudově závislý odpor, např. žárovky. V dalším textu bude popsáno několik typů odporových nabíječů.

Nejrozšířenějším nabíječem akumulátorů pro motorová vozidla je nabíječ s činným odporem v sekundárním obvodu transformátoru. Při návrhu nabíječe vycházíme z průběhu křivek na obr. 7, 9, a 11. Graf na obr. 7 platí obecně pro každý olověný akumulátor, pouze se podle druhu akumulátoru mění hodnoty na ose  $x$ . Z grafu vyplývá, že zcela vybitý akumulátor má svorkové napětí 2,1 V, nabitý 2,8 V. Protože šestivoltový akumulátor má 3 články, má ve vybitém stavu svorkové napětí  $3 \cdot 2,1 = 6,3$  V, v nabitém stavu  $3 \cdot 2,8 = 8,4$  V. Pro akumulátor 12 V pak platí (má šest článků), že ve vybitém stavu má 12,6 V a v nabitém stavu 16,8 V.



Vhodný nabíjecí proud je určen velikostí a konstrukcí akumulátoru. Protože je u běžně používaných typů akumulátorů velikost desek přímo úměrná kapacitě, určují obvykle výrobci nabíjecí proud podle kapacity akumulátoru – nabíjecí proud bývá převážně jednou desetinou kapacity (proud v A = 0,1C

v Ah). Doba nabíjení závisí na účinnosti akumulátoru a je obvykle 12 1/2 hodiny. Některé nabíjecí předpisy stanoví s ohledem na zkrácení nabíjecího cyklu v počáteční fázi nabíjecí proud větší, než je obvyklé; proud se pak během nabíjení v několika stupních zmenšuje. Pražská akumulátorka doporučuje dva nabíjecí



Obr. 60. Deska s plošnými spoji řídicího regulátoru podle schématu na obr. 59 (str. 58) (deska J 205)

4,2 A v 1. stupni, 2,1 A ve 2. stupni; akumulátor 6N50 (12 V, 50 Ah) – 7,4 A v 1. stupni, 3,7 A ve 2. stupni.

Pro první nabíjení (tzv. formování) se doporučuje proud menší. Nemůžeme-li dodržet při běžném nabíjení předepsané proudy, volíme vždy proudy menší. V literatuře se tvrdí a praxe to potvrzuje, že nabíjení menším proudem olověnému akumulátoru prospívá.

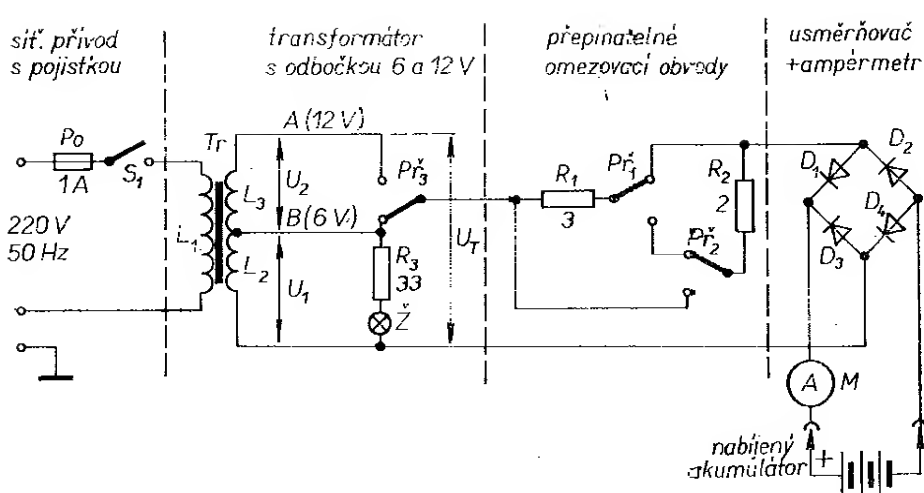
Podíváme-li se do přehledu nejběžněji používaných akumulátorů, měl by nabíječ poskytovat možnost odebrat proud v rozmezí 1 až 4 A pro akumulátor 12 V a 1 až 6 A pro akumulátor 6 V. Plynulá regulace proudu by vyžadovala použit regulální transformátor nebo proměnný odpor. Používat tyto regulační prvky není výhodné, proto je většina nabíječů konstruována tak, že umožňují přepínat proud skokem. Přepínačem se do série se sekundárním vinutím zařazuje vždy jiný odpor, nebo se jím přepínají odbočky transformátoru. Nabíječ, který si popíšeme, využívá prvního způsobu řízení proudu.

Olověný akumulátor je zdrojem s velmi malým vnitřním odporem. Této skutečnosti vděčí za své rozšíření, neboť je po určitou dobu schopen dávat extrémně velké proudy, potřebné především ke startování výbušných motorů. Trvalý odběr velkého proudu však i u těchto akumulátorů není vhodný, neboť způsobí přehřátí a popř. var elektrolytu. Malý vnitřní odpor (řádu 0,001  $\Omega$ ) klade určité, základní požadavky na nabíječ. Ten totiž nesmí být z hlediska dovoleného maximálního proudu tvrdým zdrojem napětí. Napětí nabíječe naprázdno, tj. při odpojení akumulátoru, není podstatné, neboť na nabíjeném akumulátoru se vytvoří napětí, nezávislé na nabíjecím proudu, avšak závislé na stupni nabití akumulátoru. Rozdíl napětí naprázdno a svorkového napětí akumulátoru se objeví na srážecím odporu nabíječe. Chtěli-li bychom odvodit přesné vztahy pro výstupní proud, museli bychom znát náhradní schéma transformátoru, zahrnující jeho vnitřní odpory. Vnitřní odpor transformátoru lze nejvýhodněji určit

stupně – první stupeň nabíjení končí svorkovým napětím 2,4 V na článek a proud se volí tak, aby akumulátor slabě plynul; v druhém stupni se nabíjecí proud zmenšuje asi na polovinu.

Konkrétní údaje:

akumulátor 6N35 (12 V, 35 Ah) –



Obr. 18. Jednoduchý nabíječ s odporovým omezením

měřením na zatíženém a nezatíženém transformátoru. Změříme-li např. napětí na nezatíženém transformátoru ( $U_n$ ) a napětí zatíženého transformátoru ( $U_m$ ) – transformátor je zatížen maximálním proudem, používaným k nabíjení ( $I_{\max}$ ) – potom velikost vnitřního odporu transformátoru je dána vztahem

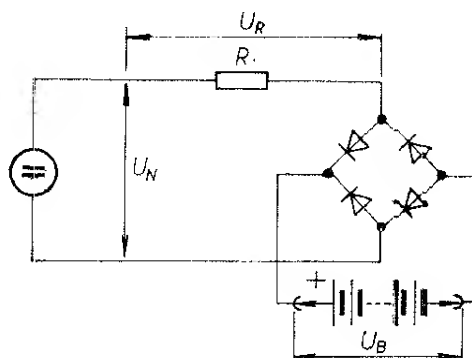
$$R_v = (U_n - U_m) / I_{\max}.$$

Tento odpor si můžeme představit jako odpor, zapojený do série se sekundárním vinutím ideálního transformátoru s převodem rovným poměru primárního napětí a napětí  $U_n$ . Při návrhu nabíječe obvykle odečítáme vnitřní odpor transformátoru od potřebného předřadného odporu.

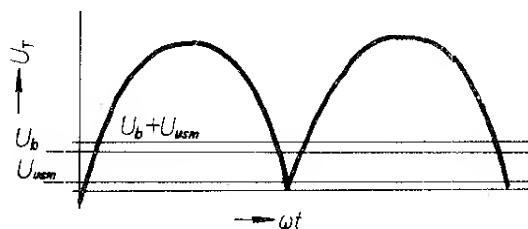
### Nabíječ s odporovým omezením

Schéma jednoduchého nabíječe s odporovým omezením je na obr. 18. Na obr. 19 je zjednodušené schéma téhož nabíječe. Primární vinutí transformátoru je připojeno k síti přes ochrannou trubičkovou pojistku. Nesmíme zapomenout na řádné zemnění nabíječe ochranným vodičem. Sekundární cívka transformátoru má dvě vinutí,  $L_3$  a  $L_2$ , která se při nabíjení akumulátoru 12 V spínají do série přepínačem  $P_3$ . Nabíjí-li se akumulátor 6 V, pracuje pouze vinutí  $L_2$ . Jak pro nabíjení akumulátoru 12 V, tak pro akumulátor 6 V lze řadit do série s vinutími čtyři odpory. Všechny možné kombinace lze volit přepínáním

ním páčkových přepínačů  $P_1$  a  $P_2$ . Každý z přepínačů má dvě různé polohy takže celkový počet jejich možných poloh je 4. V jedné z jejich poloh jsou odpory spojeny v sérii, ve druhé poloze je zapojen pouze větší z odporů, v další pouze menší z odporů a v poslední poloze jsou oba odpory paralelně. Tím se postupně zvětšuje proud do akumulátoru. Páčkové přepínače musí být konstruovány na největší nabíjecí proud. Nabíjecí proud lze kontrolovat měřidlem  $M$ .



Obr. 19. Zjednodušené schéma nabíječe s odporovým omezením



Obr. 20. Napěťové poměry při nabíjení

Nejvhodnější je použít ampérmetr s rozsahem 10 A. Střídavé sekundární napětí se usměrňuje můstkovým usměrňovačem.

Předpokládejme, že přepínač  $P_3$  je v poloze A. Na výstupu nabíječe je připojen akumulátor 12 V. Na přepínači  $P_3$  je sekundární napětí transformátoru, v tomto případě asi 19,5 V. Pro jednoduchost předpokládejme, že se toto napětí po průchodu dvěma sériově zapojenými diodami zmenší o 1,5 V, dále proto budeme počítat pouze se sekundárním napětím 18 V. Skutečné poměry v nabíječi jsou zřejmé z obr. 20. Dvoucestné usměrňené napětí má průběh, znázorněný dvěma půlperiodami. Efektivní velikost tohoto napětí je měřena při odpojení akumulátoru, tj. při chodu nabíječe naprázdno. Čára  $U_b$  značí svorkové napětí akumulátoru. Po připojení akumulátoru k nabíječi poteče do akumulátoru proud až tehdy, bude-li  $U_T$  větší než  $U_b + U_{usm}$ . Velikost proudu bude dána efektivním napětím vrchlíků nad přímkou  $U_b + U_{usm}$  a omezovacím odporem.

Nyní tedy potřebujeme zjistit omezovací odpor, nebo popř. oba odpory podle obr. 18 ( $R_1$ ,  $R_2$ ). Je-li napětí na sekundárním vinutí transformátoru mnohem větší, než svorkové napětí akumulátoru, je výpočet velmi jednoduchý. Platí přibližně, že

$$R = \frac{U_T - (U_b + U_{usm})}{I},$$

kde  $U_T$  je efektivní velikost sekundárního napětí (nebo napětí sítě),

$U_b$  napětí na svorkách nabíjeného akumulátoru,

$U_{usm}$  úbytek napětí na usměrňovacích diodách a

$I$  požadovaný nabíjecí proud.

Tento výpočet platí velmi přesně např. při nabíjení niklo-kadmiových malých uzavřených článků malým proudem přímo ze sítě. U akumulátorů s větší kapacitou, u nichž je třeba nabíjecí proud několik ampérů, je nutno volit vzhledem k velkým ztrátám na omezovacích odporech napětí  $U_T$  tak, aby se téměř rovnalo napětí  $U_b$ . Pak je výpočet

obvodu relativně složitý, neboť (jak plyne z obr. 20) teče proud do akumulátoru i tehdy, je-li efektivní napětí  $U_T$  stejné nebo i menší než  $U_b$ .

Vhodným konstrukčním postupem je odhadnout omezovací odpor a jeho hodnotu pak upravit podle skutečně zjištěných údajů (nabíjecí proud do vybitého a nabitého akumulátoru).

Pro nabíječ na obr. 18 byly zvoleny  $R_1 = 2 \Omega/20 \text{ W}$ ,  $R_2 = 3 \Omega/30 \text{ W}$ .

S těmito odpory lze v jednotlivých polohách přepínačů nastavit přibližně tyto proudy

poloha přepínače	1	2	3	4
vybitý akumulátor	1,5 A	2 A	3,2 A	4,5 A
nabitý akumulátor	0,8 A	1,4 A	2,3 A	2,8 A.

Odpory jsou drátové, navinuté na keramice, nebo samonosné. Protože podobné odpory nejsou na trhu, musíme je zhotovit sami. Na vhodný keramický váleček přiměřené velikosti navineme drát z konstantanu, manganinu nebo chromniklu o průměru minimálně 0,6 mm. Musíme zvolit drát dostatečné tloušťky, aby se nepřepálil, popř. neuvolnil na tělisku. Konkrétní volba závisí na velikosti a tvaru keramického těliska a na způsobu chlazení.

Při známém materiálu odporového drátu spočítáme jeho délku ze vztahu

$$R = \varrho \frac{l}{S}, \text{ z čehož } l = \frac{RS}{\varrho},$$

kde  $R$  je požadovaný odpor [ $\Omega$ ],

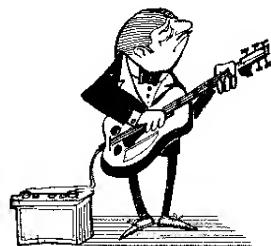
$\varrho$  měrný odpor materiálu odporového drátu [ $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ],

$S$  průřez odporového drátu [ $\text{mm}^2$ ],

$l$  hledaná délka drátu [m].

Přitom měrný odpor konstantanu je 0,5, manganinu 0,48 a chromniklu (čekasu) 1,1  $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ .

Odpor [ $\Omega$ ] 1 m drátu běžných průměrů je



Ø [mm]	konstan- tan	manga- nin	chrom- nikl
0,6	1,8	1,75	4
0,8	1,05	1	2,3
1	0,66	0,6	1,4
1,2	0,45	0,42	1
1,5	0,3	0,28	0,64

Transformátor  $Tr$  je navinut na jádru z plechů EI 40 × 40 mm,  $L_1$  (220/120 V) má 640/350 z drátu o Ø 0,6/0,85 mm CuL,  $L_2$  (14 V) má 56 z drátu o Ø 1,7 mm CuL a  $L_3$  (5,5 V) má 19 z drátu o Ø 1,6 mm CuL.

Zapnutí nabíječe indikuje žárovka 12 V/50 mA, zapojená v sérii s odporem  $R_3 = 33 \Omega$  k vinutí  $L_2$ .

Jako usměrňovací diody se používají diody typu KY708 ( $D_1$  až  $D_4$ ), které mají dovolený proud v propustném směru 10 A. Tyto diody je třeba umístit na tři chladiče, neboť pouze dvě z nich mají v můstkovém usměrňovači společnou část s upínacím šroubem. Na diodách je při maximálním proudu nabíječe ztráta asi 8 W. Tato ztráta se rovnoměrně rozloží na všechny diody, takže chladiče nemusí být příliš robustní. Pro samostatně umístěné diody vyhoví chladičí plocha chladiče asi 50 cm<sup>2</sup> a pro dvojici 100 cm<sup>2</sup>. Chladiče je nejvýhodnější zhotovit z hliníku tloušťky asi 2 mm.

Proud měříme ampérmetrem. Pokud ampérmetr z úsporných důvodů nepoužijeme, a budeme-li měřit proud vnějším měřidlem (univerzální měřicí přístroj), upozorňujeme na to, že některé univerzální přístroje (např. Avomet I a II) nesnášejí trvalé maximální proudové zatížení, neboť bočníky těchto přístrojů nejsou pro trvalou zátěž dimenzovány.

Mechanickou konstrukci nabíječky volíme tak, aby součástky, vyzařující teplo, měly kolem sebe dostatek prostoru. Zejména se jedná o odpory  $R_1$  a  $R_2$ . Odpory je třeba umístit co nejvýše od šasi a co nejdále od usměrňovacích diod, ampérmetru i transformátoru. Celou skříňku volíme dostatečně prostornou

s dostatkem větracích otvorů. Všechny spoje na sekundární straně transformátoru děláme zásadně co nejtlustším měděným vodičem nebo lankem. Výstupní svorky označíme znaky + a –, popř. je rozlišíme i barevně; bývá zvykem označovat kladný pól červeně a záporný modře. Jednoduše tak předejdeme zbytečným omylům, které mohou způsobit poškození jak akumulátoru, tak nabíječe.

V dalším textu uvedeme nyní některé možné varianty řešení.

A. Proud lze volit tak, že přepínáme odbočky na transformátoru (čímž měníme napětí  $U_T$ ). Odbočky lze vytvářet na sekundární straně i na primárním vinutí. Potom lze vystačit např. jen s jedním sériovým odporem. Použitý přepínač nesmí při přepínání zkratovat sousední odbočky vinutí, neboť velké zkratové proudy by nejen mohly poškodit vinutí, ale i rychle opálit kontakty přepínače.

B. Omezovací odpor lze zapojit do série jak s primárním, tak se sekundárním vinutím. Může však být umístěn až za usměrňovačem na svorkách nabíječe.

Bude-li odpor v sérii s primárním vinutím transformátoru, musíme přepočítat odpor, vypočítaný pro zapojení v sérii se sekundárním vinutím a to takto:

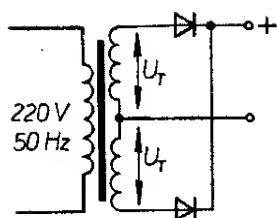
$$R_{\text{prim}} = R_{\text{sek}} \frac{U_{\text{prim}}}{U_{\text{sek}}} = R_{\text{sek}} p,$$

kde  $p$  je převod transformátoru a  $U_{\text{prim}}$ ,  $U_{\text{sek}}$  napětí na vinutích nezatíženého transformátoru. Při výpočtu se nepřihlíží k vlastnímu odporu transformátoru, vzorec však k praktickému návrhu vyhoví s dostatečnou přesností.

Odpor na primární straně transformátoru vyjde obvykle tak, že ho lze vybrat z běžně vyráběných odporů a není ho třeba zhotovovat amatérsky.

C. Transformátor lze navinout tak, že vystačíme s dvoucestným usměrňováním, tzn. že ušetříme dvě usměrňovací diody. Obě části sekundárního vinutí musí mít shodné napětí a shodný odpor, aby se jejich celkové zatížení rovnoměrně rozdělovalo. Zapojení je na obr. 21. Použijeme-li

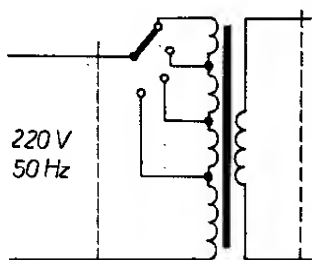




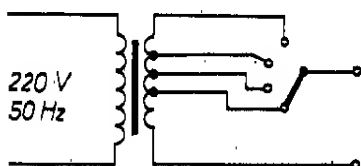
Obr. 21. Dvoucestné usměrnění

transformátor s odbočkami, je výhodnější udělat odbočky na primární straně (obr. 22). Při návrhu transformátoru podle obr. 21 stačí dimenzovat drát sekundárního vinutí na poloviční proud, neboť každou část vinutí protéká proud pouze v jedné púlperiodě.

D. Místo sériového odporu lze použít žárovku. Výhodou při tomto uspořádání je, že se odpor vlákna žárovky mění v závislosti na protékajícím proudu. Vlákno žárovky mění svůj odpor ve značném rozmezí a výsledná charakteristika nabíječe změní svůj tvar. Nabíječ se pak chová spíše jako zdroj proudu a rozdíl mezi proudem do vybitého a nabitého akumulátoru se změní (zmenší). Současně se zmenší závislost nabíjecího proudu na kolísání napětí sítě a lze opticky kon-



Obr. 22. Transformátor s přepínatelnými odbočkami na primárním vinutí



Obr. 23. Transformátor s přepínatelnými odbočkami na sekundárním vinutí

trolovat správnou činnost nabíječe. Ze svitu žárovky lze po získání určité zkušenosti usuzovat i na stav nabití akumulátoru.

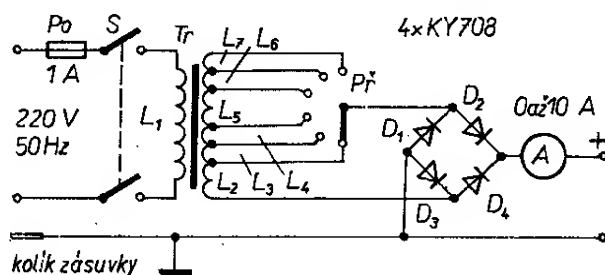
Nabíječe s odporovým omezením mají své nesporné přednosti. Jsou jednoduché, levné, a protože obsahují malý počet součástek, jsou i spolehlivé. Nabíjecí křivka je také příznivá. Mají však i nevýhody – kromě nesnadné realizace spojitě regulace proudu je podstatnou nevýhodou skutečnost, že rozdíl napětí transformátoru a nabitého akumulátoru se mění v teplo, které se bez užitku vyzáří do okolí. U nabíječů velkých akumulátorů nebo akumulátorových baterií je tato nevýhoda již podstatná, neboť ztráta v odporech se zvětšuje se čtvercem proudu (s druhou mocninou).

### Nabíječ bez vnějších odporů

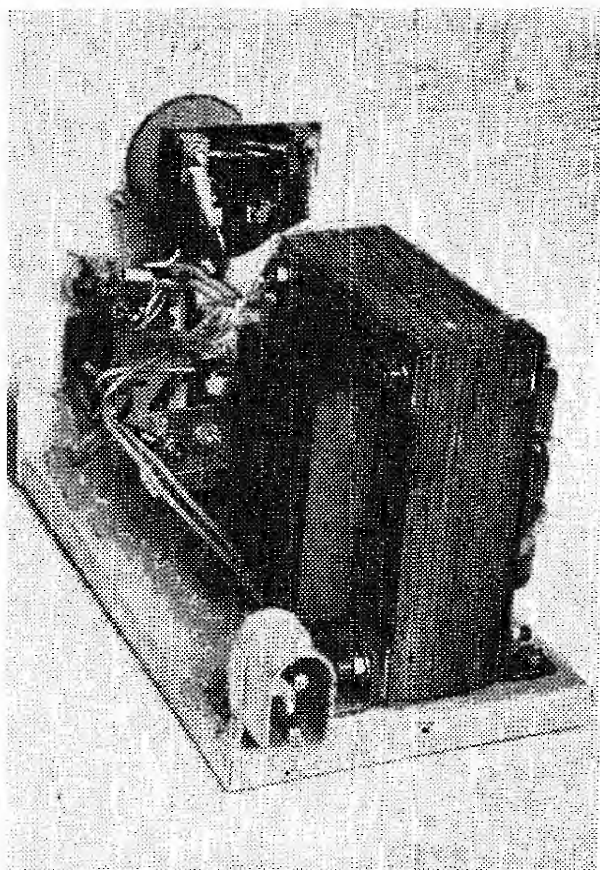
Jak již bylo uvedeno, lze realizovat nabíječ, který využívá odporů obou vinutí a vnitřních ztrát v akumulátoru k omezení nabíjecího proudu. Základní schéma takového nabíječe je na obr. 23, skutečné schéma je na obr. 24. Vinutí transformátoru má tři odbočky pro akumulátor 6 V a tři odbočky pro akumulátor 12 V.

#### Transformátor

Transformátor je na jádru z plechů EI 40 × 40 mm, primární vinutí  $L_1$  má 630 z drátu o  $\varnothing$  0,5 mm CuL. Sekundární vinutí:  $L_2$  – 19 z,  $L_3$  – 3 z,  $L_4$  – 3 z,  $L_5$  – 13 z,  $L_6$  – 6 z,  $L_7$  – 6 závitů, všechny drátem o  $\varnothing$  2 mm CuL. Činný odpor primárního vinutí je asi 12  $\Omega$ . Činný odpor odboček sekundárního vinutí je asi 30 až 80 m $\Omega$ . K těmto odporům je



Obr. 24. Nabíječ bez vnějších odporů



Obr. 25. Konstrukce nabíječe bez vnějších odporů

třeba přičíst dynamický odpor usměrňovacího můstku a vnitřní odpory transformátoru. Celkový odpor na výstupu nabíječe je tedy asi  $1\ \Omega$ , a závisí na odbočce sekundárního vinutí, která je právě zvolena přepínačem *Př.* Proud, který teče do akumulátoru, závisí značně na stupni vybití akumulátoru. Proto je nezbytné vybavit nabíječ ampérmetrem. Odpor bočníku ampérmetru může také ovlivnit nabíjecí proud.

Následující údaje jsou charakteristické pro nabíjení vybitého akumulátoru tímto nabíječem:

odbočka	akumulátor 6 V	akumulátor 12 V
1.	0,5 A	2 A
2.	2 A	3 A
3.	3 A	5 A

Provedení nabíječe je zřejmé z obr. 25 a vnější uspořádání z obr. 26. Přepínačem nesmíme zkratovat během přepínání jednotlivé části vinutí (viz popis předchozího nabíječe).

pínačem nesmíme zkratovat během přepínání jednotlivé části vinutí (viz popis předchozího nabíječe).

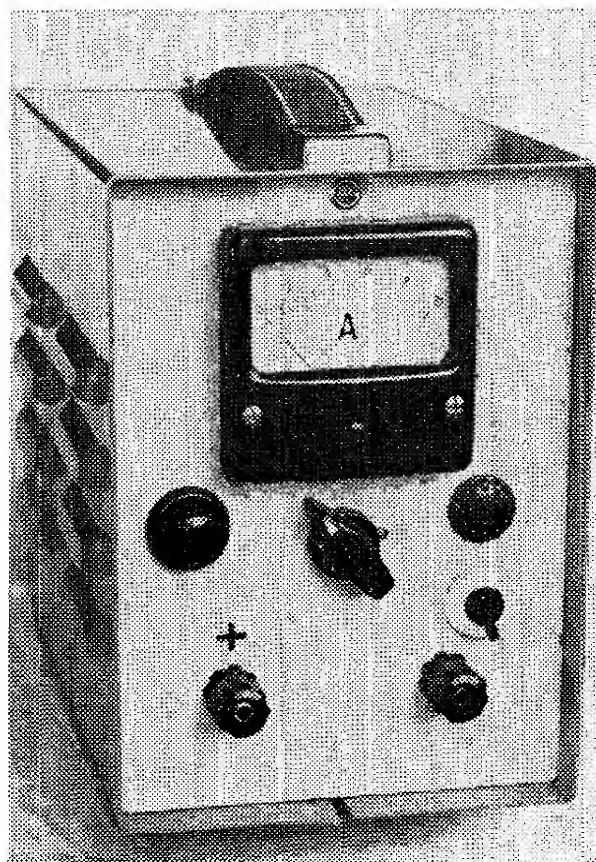
### Nabíječ s omezením nabíjecího proudu žárovkou

Použijeme-li obvod nabíječe s odporovým omezením proudu, který je schematicky znázorněn na obr. 19, platí pro toto zapojení vztahy

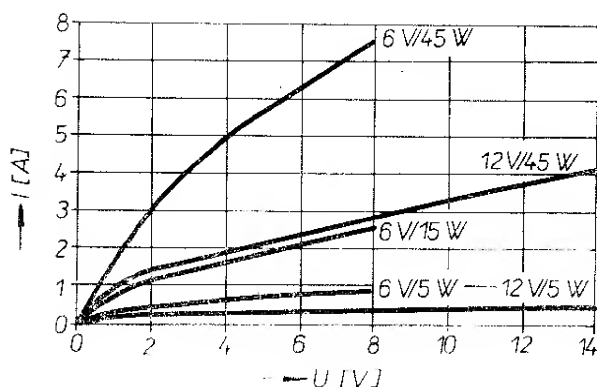
$$I = \frac{U_N - U_B}{R}, \text{ z čehož } U_B = U_N - RI.$$

Tato rovnice charakterizuje nabíječ, u něhož je závislost mezi napětím akumulátoru  $U$  a nabíjecím proudem  $I$  vyjádřena křivkou  $W$  (obr. 17, str. 28).

Měříme-li charakteristiku žárovky, tj. závislost mezi napájecím napětím a proudem, zjistíme, že tato charakteristika není lineární jako např. u činného odporu, ale že se se zvětšujícím se napětím odpor vlákna zvětšuje. Tento jev je vyvolán změnou teploty vlákna.



Obr. 26. Vnější provedení nabíječe z obr. 24



Obr. 27. Charakteristiky jednotlivých typů žárovek

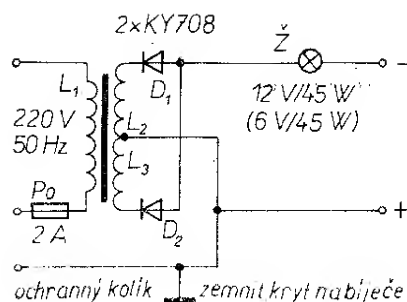
Charakteristiky několika typických automobilových žárovek jsou na obr. 27. Údaje, z nichž byl konstruován graf, jsou číselně uvedeny v tab. 5. Zaměním-li tedy odpor  $R$  v obvodu podle obr. 19 za žárovku, změní se tvar charakteristiky nabíječe z W na G (obr. 17).

Stabilizace proudu žárovkou má některé přednosti, většinu jsme si již uvedli. Zdůrazněme zde však znovu, že tím, že se zmenší závislost nabíjecího proudu na rozdílu napětí nabíječe a akumulátoru, zmenší se také závislost tohoto proudu na kolísání síťového napětí.

Na obr. 28 je schéma žárovkového nabíječe akumulátorů. Z obr. 29 a 30 (4. strana obálky) je zřejmé mechanické uspořádání nabíječe. Detaily nabíječe jsou na obr. 31 a 32. Protože po-

Tab. 5. Závislost mezi napětím a proudem různých typů žárovek

Typ žárovky	12 V/ 5 W	12 V/ 45 W	6 V/ 5 W	6 V/ 15 W	6 V/ 45 W
U	I [A]	I [A]	I [A]	I [A]	I [A]
2 V	0,14	1,44	0,37	1,05	3,1
4 V	0,21	1,92	0,56	1,6	5,1
6 V	0,28	2,4	0,7	2,1	6,2
8 V	0,32	2,9	0,82	2,6	7,6
10 V	0,37	3,25			
12 V	0,41	3,7			
14 V	0,46	4,1			

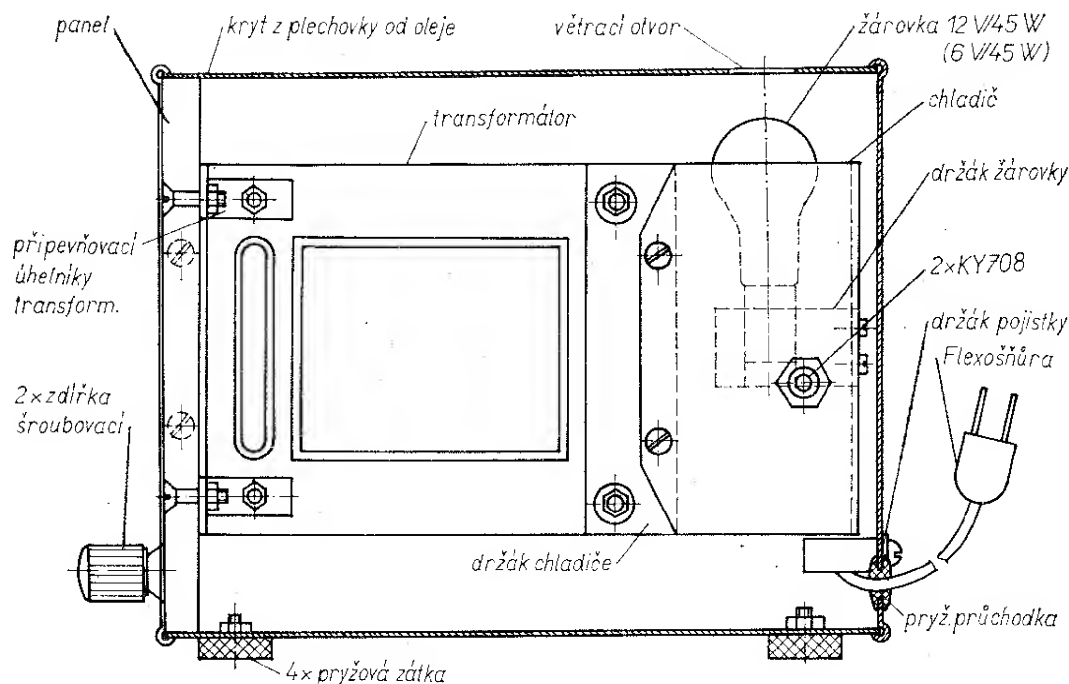


Obr. 28. Schéma nabíječe se žárovkou

žadavkem bylo, aby konstrukce byla po mechanické stránce co nejjednodušší, byl použit ke zhotovení krytu nabíječe snadno dostupný obal od běžně prodávaných olejů. Jde o plechovku s obsahem 3 litry a s vnitřními rozměry  $106 \times 156 \times 192$  mm. U plechovky je třeba pouze odstranit vrchní víko s uzávěrem.



Obr. 29. Vnější mechanické uspořádání nabíječe se žárovkou



Obr. 31. Rozložení jednotlivých dílů nabíječe

Jednotlivé díly nabíječe (tj. transformátor, usměrňovač, žárovka a připojovací zdířky) jsou upevněny na čelní desce, zhotovené z pertinaxu nebo novotexu tloušťky 10 mm. Na zadní části transformátoru je upevněn chladič usměrňovacích diod a na tomto chladiči je v izolačním držáku připevněna žárovka. Žárovka je z důvodů spolehlivosti připojena do obvodu připájením. Objímka není použita i proto, protože doba života žárovky, která v tomto zapojení pracuje s menším napětím, než je její jmenovité napětí, je mnohonásobně delší než za běžného provozu. Aby se uvnitř nabíječe nehromadilo teplo, je vhodné opatřit plechový kryt větracími otvory. Žárovku umístíme do blízkosti větracího otvoru v horní části krytu tak, aby bylo možno pohodlně sledovat její vlákno. Jako žárovku lze použít i žárovku ze světlometu, která má jedno z vláken přerušené.

Přední panel je upevněn ke krytu a dno krytu (plechovky) je opatřeno pryžovými zátkami, sloužícími jako nožky nabíječe.

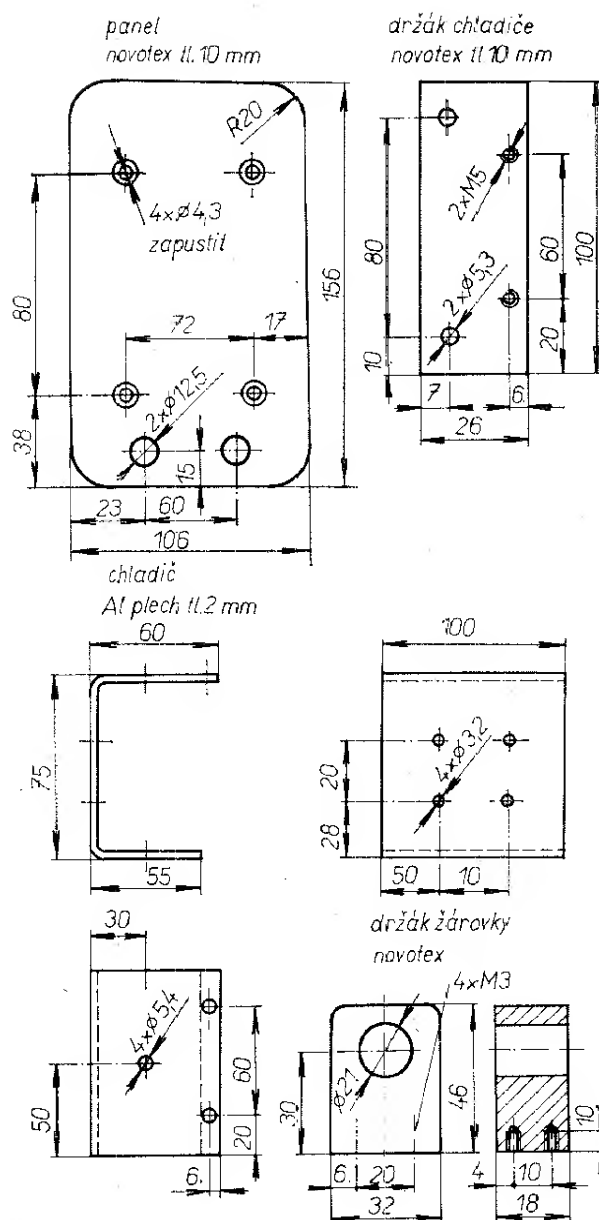
Transformátor je složen z plechů EI 40 × 40 mm. Primární vinutí (220 V)

má 630 z drátu o  $\varnothing$  0,5 mm CuL; sekundární vinutí má pro nabíjení akumulátoru 6 V dvakrát 29 z drátu o  $\varnothing$  1,6 mm CuL, pro akumulátor 12 V 2 × 56 závitů drátu o  $\varnothing$  1,4 mm CuL. Izolace mezi primárním vinutím a sekundárním vinutím je na napětí 3,5 kV. Montáž příchytů transformátoru je zřejmá z obr. 31. Pro jednoduchost nebyl použit síťový spínač. Nabíječ se připojuje k síti zastrčením přívodní šňůry do síťové zásuvky.

Na obr. 33 je charakteristika nabíječe v úpravě pro nabíjení akumulátoru 12 V. Z charakteristiky je zřejmé, že zcela vybitým akumulátorem protéká proud asi 4,5 A (2,8 A); tento proud se během nabíjení zmenšuje až asi na 2,8 A (1,5 A). Bylo-li by třeba upravit nabíjecí proud (vzhledem k akumulátoru, který chceme nabíjet), lze charakteristiku nabíječe upravit v zásadě dvěma způsoby:

- změnou sekundárního napětí transformátoru,
- použitím žárovky jiného typu.

Je zřejmé, že je třeba při změně odebíraného proudu změnit i průměr drátů

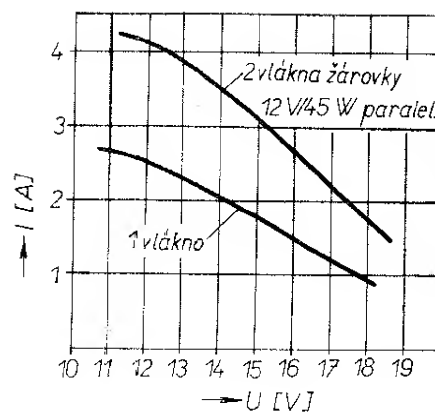


Obr. 32. Mechanické díly nabíječe se žárovkou

transformátoru, popř. volit jiné jádro.

Při prvním způsobu úpravy, tj. při změně napětí sekundárního vinutí, se mění charakteristika nabíječe tak, že se pouze posune.

Chceme-li zmenšit nabíjecí proud, stačí zmenšit napětí sekundárního vinutí odvinutím příslušného počtu závitů. Kdybychom však zmenšili napětí sekundárního vinutí pod určitou mez, hrozí nebezpečí, že nabíječ nebude schopen nabít akumulátor na plnou kapacitu,



Obr. 33. Průběhy nabíječe se žárovkou

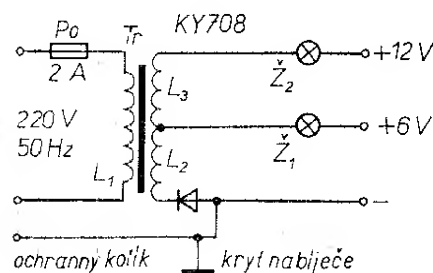
neboť po dosažení určitého svorkového napětí akumulátoru přestane téci proud z nabíječe do akumulátoru.

Druhý způsob (tj. změna typu žárovky) upraví charakteristiku jiným způsobem. Použijeme-li např. místo žárovky 12 V/45 W žárovku 12 V/30 W, nebo zapojíme-li místo žárovky 12 V/45 W dvě paralelně spojené žárovky 12 V/15 W, zmenší se nabíjecí proud asi o jednu třetinu.

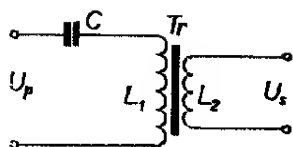
Nabíječ se žárovkou můžeme také upravit podle obr. 34. Přístroj bude nyní vyhovovat jak pro akumulátor 6 V, tak pro akumulátor 12 V. V panelu bude další zdířka a uvnitř nabíječe budou dvě žárovky. Usměrnění bude jednocestné a bude tedy třeba zvětšit počet závitů obou vinutí a současně zvětšit i průměr použitých drátů.

### Nabíječ akumulátorů s kondenzátorem

Připojíme-li do série s primárním vinutím transformátoru kondenzátor, upraví impedance tohoto kondenzátoru



Obr. 34. Upravený nabíječ se žárovkou



Obr. 35. Úprava nabíjecí charakteristiky kondenzátorem

charakter závislosti výstupního proudu a napětí nabíječe. Ze zapojení na obr. 35 získáme tedy zdroj s velkým vnitřním odporem, tedy zdroj, jehož charakteristika se v určité oblasti podobá charakteristice tvaru I (obr. 17). Pro sinusový průběh (použijeme-li k usměrnění můstkový usměrňovač) platí pro výpočet kapacity kondenzátoru vztah

$$C = \frac{I_{0s}}{\omega p U_p},$$

kde  $I_{0s}$  je požadovaný zkratový proud na sekundární straně,

$$\omega = 2\pi f = 314,$$

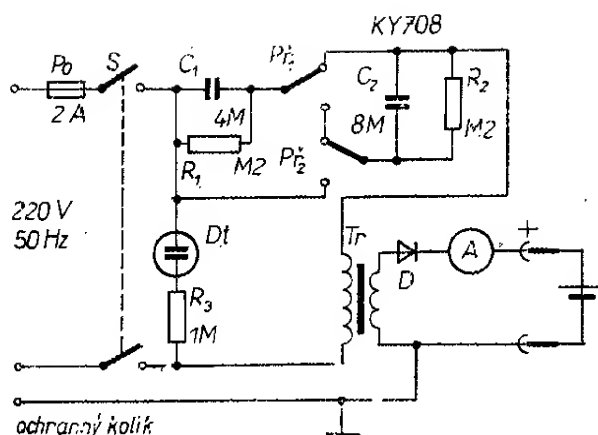
$U_p$  napětí na primární straně transformátoru (220 V, 50 Hz),

$p$  převod transformátoru.

Při skutečném provozu nabíječe se proud do akumulátoru mírně liší od zkratového proudu (vstupní indukčnost transformátoru, nelineární závislost mezi magnetickou indukcí a intenzitou magnetického pole apod.). Přesto lze uvedený vztah pro orientaci použít.

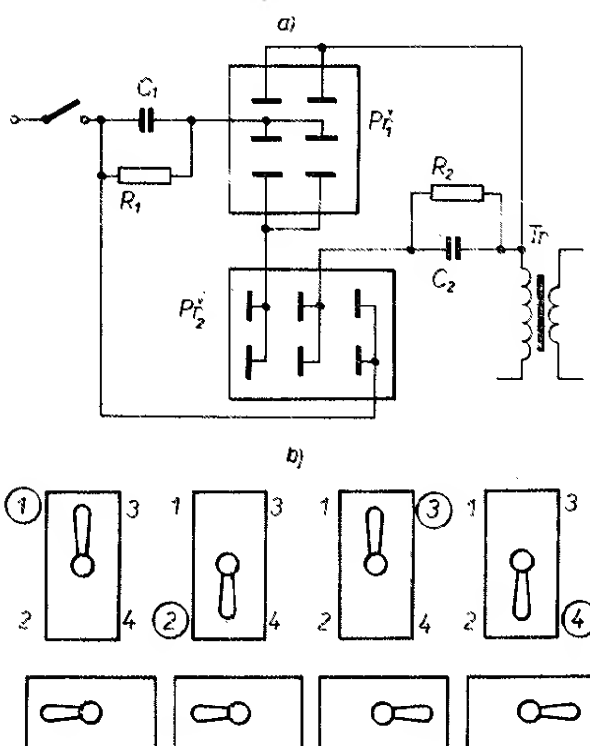
Jako výhodnější se u tohoto druhu nabíječe jeví použít jednocestné usměrnění. Průběh není již sinusový, jádro transformátoru se stejnosměrně magnetizuje a více se uplatní rezonance v oblasti, kdy není transformátor zatížen. Při stejném transformátoru a stejném požadovaném výstupním proudu nabíječe stačí použít (podle vlastností transformátoru) kondenzátor s téměř poloviční kapacitou.

Na obr. 36 je schéma skutečného provedení nabíječe. Jsou použity dva kondenzátory, jejichž kapacita je v poměru 1:2. Kondenzátory se přepínají tak, že v první poloze přepínačů (tj. v poloze,



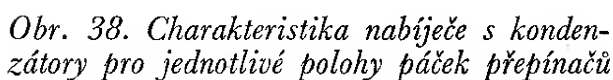
Obr. 36. Nabíječ akumulátorů s kondenzátory

odpovídající nejmenšímu nabíjecímu proudu) jsou oba kondenzátory zapojeny do série a jejich výsledná kapacita je tedy nejmenší. V další poloze přepínačů je zapojen do obvodu pouze kondenzátor s menší kapacitou, dále se připojí pouze kondenzátor s větší kapacitou a konečně jsou oba kondenzátory spojeny paralelně (jejich kapacita je nej-

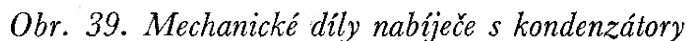


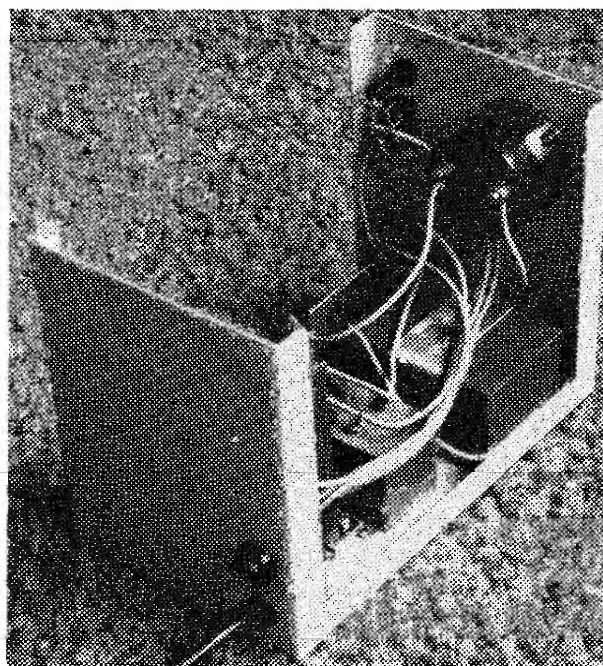
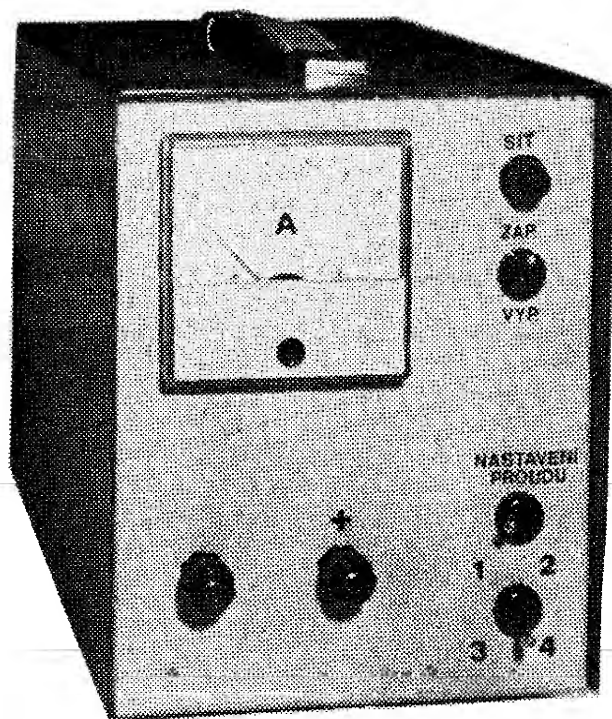
Obr. 37. Umístění a propojení kontaktů přepínačů nabíječe; a – pohled ze strany kontaktů, b – pohled ze strany panelu na polohy páček přepínačů





Kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$  musí být dimenzovány alespoň na 1 000 V, v žádném případě nesmí být elektrolytické. Není-li totiž k nabíječi připojen nabíjený akumulátor, je na kondenzátorech vlivem sériové rezonance (připojený kondenzátor a indukčnost primárního vinutí transformátoru) napětí až asi 700 V. Kromě toho jsou kondenzátory namáhány protékajícím střídavým proudem. Primární vinutí transformátoru je třeba dokonale izolovat od sekundárního, neboť napěťové namáhání transfor-





Obr. 40. Vnější uspořádání nabíječe s kondenzátory (pozice 2 a 3 neodpovídají obr. 37!)

mátoru je téměř třikrát větší, než u běžně zapojeného transformátoru.

Odpory  $R_1$  a  $R_2$  jsou vybíjecí odpory. Ty je třeba dimenzovat rovněž na 700 V (minimálně).

Vystačíme-li s jedním nabíjecím proudem, lze použít pouze jeden kondenzátor a vypustit přepínače.

Jak již bylo uvedeno, tvoří kondenzátor a transformátor sériový rezonanční obvod. Proto nedoporučujeme ponechávat nabíječ připojený k síti, není-li na výstupu připojen nabíjený akumulátor. Někdy se může nabíjecí proud přerušit nedokonalým stykem vývodů nabíječky a připojovacích svorek akumulátoru. Proto je vždy třeba řádně očistit vývody akumulátoru a svorky nabíječky. Nabíječku je vhodné doplnit měřidlem nebo alespoň indikátorem správné činnosti (je popsán dále).

#### Poznámky ke konstrukci

Mechanické uspořádání a rozložení součástek je zřejmé z obr. 39 a 40. Pro bezpečnost obsluhy je třeba propojit kostru nabíječky s ochranným kolíkem (zemnicím kolíkem) zásuvky. S kostrou

je vhodné spojit i jednu z výstupních svorek, obvykle „zápornou“. Dále je třeba dbát, aby primární obvod nabíječky (až po transformátor) byl bezpečně vzdálen od všech míst možného dotyku, případně i od větracích děr.

#### Použité součástky

##### Transformátor $Tr$

plechy EI40 × 40, primární vinutí (220 V) 640 z drátu o  $\varnothing$  0,7 mm CuL, sekundární vinutí (27 V) 90 z drátu o  $\varnothing$  2 mm CuL.

##### Přepínače, spínač

$Př_1$ ,  $Př_2$  přepínač páčkový (4166 224 nebo 4166 218)  
 $S$  síťový spínač

##### Odpory

$R_1$ ,  $R_2$  odpor vrstvý TR 103, 0,2 M $\Omega$   
 $R_3$  odpor vrstvý TR 115, 1 M $\Omega$

##### Kondenzátory

$C_1$  kondenzátor krabicový, TC 667, 4  $\mu$ F / 1000 V  
 $C_2$  kondenzátor krabicový, TC 667, 8  $\mu$ F / 1000 V

##### Dioda

$D_1$  křemíková dioda KY708

##### Ostatní součástky

$Dt$  doutnavka  
 $Po$  trubičková pojistka 2 A  
 $A$  ampérmetr s rozsahem do 10 A

síťová šňůra, přístrojové svorky 2 ks, pryžové nožky 4 ks, držadlo; mechanická sestava podle obr. 39

### Nabíječ s kondenzátorem pro síť 220/120 V

Tento nabíječ je určen pro zájemce, kteří nemají možnost zhotovit si transformátor, neboť využívá transformátoru, vyráběného družstvem Mechanika pod označením OJV-03. Tento transformátor má primární vinutí pro 120 i 220 V a sekundární vinutí je na napětí 24 V. Příkon transformátoru je 300 VA. Transformátor je složen z plechů M se šířkou vnitřního sloupku 40 mm. Výška svazku plechů je 50 mm. Zapojení nabíječe s tímto transformátorem je na obr. 41. Zapojení je shodné s nabíječem, který byl popsán v předchozím článku, je pouze rozšířeno o přepínač, jímž se přepíná odbočka na primární straně transformátoru (120/220 V). Používáme-li nabíječ pro síťové napětí 220 V, je přepínač  $Př_1$  v poloze „220“; chceme-li nabíjet akumulátor 24 V, je možné

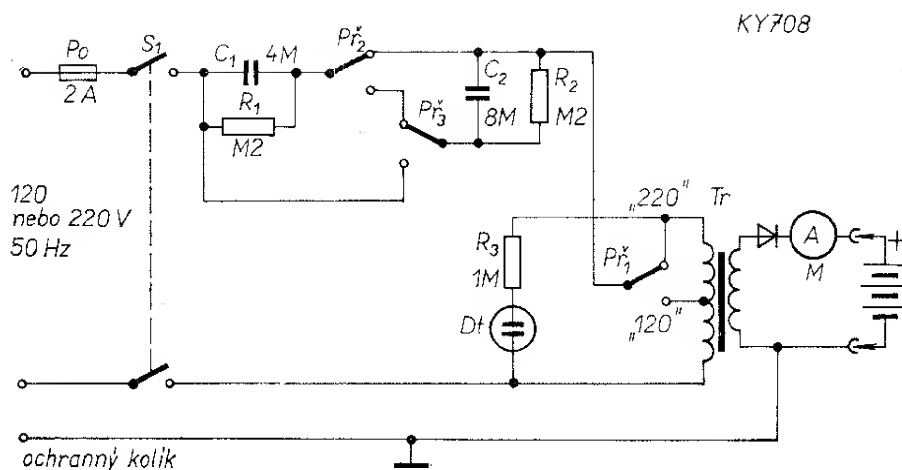
přepojit přepínač do polohy „120“ (při napětí sítě 220 V). Naopak, při síťovém napětí 120 V lze využít obou poloh  $Př_1$ ; různé nabíjecí proudy pro různé akumulátory jsou v závislosti na napětí sítě uvedeny v tab. 6. Z tabulky je zřejmé, při jakých polohách přepínačů na předním panelu tekou do akumulátoru požadované nabíjecí proudy. Vidíme, že pro nejběžnější akumulátory 6 a 12 V vyhovuje převážná většina poloh přepínačů. Potřebný nabíjecí proud je tedy možno nastavit poměrně snadno.

### Zjednodušený nabíječ s kondenzátorem

Hodláme-li nabíjet s nabíječem stále stejný typ akumulátoru, stačí konstruovat nabíječ s jedním kondenzátorem, zapojeným v sérii s primárním vinutím transformátoru. Pro jednoduchost lze vynechat i síťový spínač a ampérmetr. Nabíječ je pak ale vhodné doplnit obvodem, indikujícím správnou činnost. Na obr. 42 je schéma a na obr. 43 celkové

Tab. 6. Změřené nabíjecí proudy nabíječe s kondenzátory podle obr. 41

Napětí sítě	Napětí akumulátoru [V]	Nabíjecí proud [A] při polohách přepínačů $Př_2$ a $Př_3$ (obr. 37)							
		(odbočka pro 220 V)				(odbočka pro 120 V)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
220 V	0	6,7	4,4	2,2	1,4	—	—	—	—
	2,4	6,3	4,2	2,1	1,2	—	—	—	—
	4,8	6	4	1,8	1	—	—	—	—
	6	6	4	1,8	1	—	—	—	—
	12	6,3	4	1,8	0,9	—	—	—	—
	18	6,5	4,3	1,4	—	—	—	—	—
	24	6,5	3,4	0,5	—	7	5,8	3	—
120 V	0	3,6	2,4	1,1	0,5	6,4	4,3	2,1	1,4
	2,4	3,4	2,2	1	0,5	6	4	2	1,4
	4,8	3,4	2,1	0,8	0,3	5,8	3,8	2	1,4
	6	3,2	2	0,8	—	5,3	3,5	1,8	1,4
	12	2,2	2	0,5	—	3,7	2,5	1,4	1
	18	3	2	0,2	—	1,3	1,3	1	1
	24	3,2	1,7	—	—	—	—	1	1



KY708

Obr. 41. Nabíječ pro síť 120/220 V s kondenzátory (součástky jsou shodné se součástkami na obr. 36)

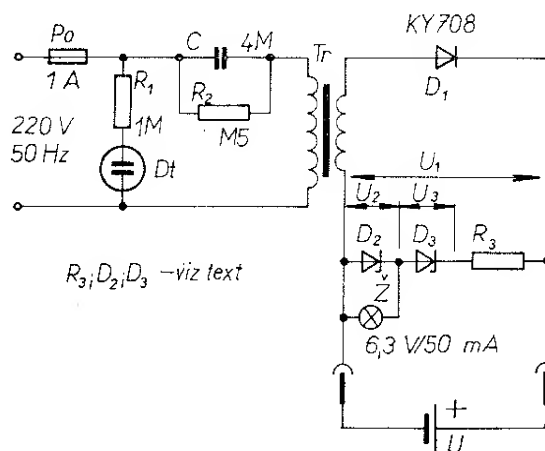
uspořádání tohoto nabíječe. Síťové napětí je přes pojistku přivedeno na kondenzátor a jeho přítomnost je indikována doutnavkou, která má v sérii ochranný odpor 1 MΩ. Sériový kondenzátor nesmí být samozřejmě elektrolytický a musí být na napětí nejméně 1000 V. Při odpojení akumulátoru je na kondenzátoru napětí asi 700 V! Kapacita tohoto kondenzátoru určuje velikost nabíjecího proudu. Pro proud v rozsahu 2 až 10 A lze volit kondenzátor v rozmezí kapacit 2 až 12 μF. Správnou kapacitu kondenzátoru je nejlépe volit experimentálně, neboť závisí na použitém transformátoru. Potřebnou kapacitu (není-li ve vyráběné řadě) nastavíme složením několika kondenzátorů v sérii nebo paralelně.

Transformátor s primárním vinutím 220 V by měl být navržen tak, aby sekundární napětí bylo pro akumulátor 6 V nejméně 10 V, 15 V pro akumulátory 6 a 12 V a 27 V pro akumulátory 24 V. Primární a sekundární vinutí a rozměry plechů transformátoru musí vyhovovat požadovaným nabíjecím proudům. Zásady pro výpočet transformátoru byly již uvedeny – často však vystačíme s „odloženým“ transformátorem, k němuž stačí vybrat vhodný kondenzátor.

Usměrňovací dioda musí mít chladič. Velikost chladiče závisí též na požadovaném proudu, stejně jako volba vhodné diody. Závěrné napětí diody volíme záměrně větší vzhledem k tomu, že nezatížený transformátor tvoří s kondenzátorem sériový rezonanční obvod;

při malém zatížení (nebo během pulperiody, v níž neprotéká proud) se může na diodě objevit napětí větší, než odpovídá špičkovému napětí sekundárnímu. Závěrné napětí diody je proto vhodné volit v rozmezí dvou až trojnásobku špičkové hodnoty napětí sekundárního vinutí.

Správný průchod nabíjecího proudu akumulátorem kontrolujeme žárovkou Ž, která je označena nápisem „kontrola nabíjení“ v obr. 43 (2. str. ob.). Je-li akumulátor připojen k nabíječce správně, žárovka nesvítí. Obvod, rozsvěčující žárovku (není-li připojen nabíjený akumulátor), je tvořen dvěma Zenerovými diodami, odporem a příslušnou žárovkou. Dioda D<sub>2</sub> chrání žárovku před napětovými špičkami, vznikajícími při připojování nabíječky k síti a při odpojování od sítě. Bez této diody má žárovka velmi krátkou dobu života a velmi brzy se přepálí. Obvod využívá toho, že napětí



R<sub>3</sub>; D<sub>2</sub>; D<sub>3</sub> – viz text

Obr. 42. Zjednodušený nabíječ

bez zátěže  $U_1$  je při nepřipojeném akumulátoru vlivem sériové rezonance transformátoru s kondenzátorem podstatně větší, než při připojeném akumulátoru.

Pro akumulátor 12 V je napětí  $U_{\max}$  asi 16,8 V. Použijeme-li žárovku 6,3 V/50 mA, lze použít jako  $D_2$  Zenerovu diodu typu 2NZ70 a jako  $D_3$  Zenerovu diodu typu 6NZ70. Odpor v sérii s diodami vypočítáme ze vztahu

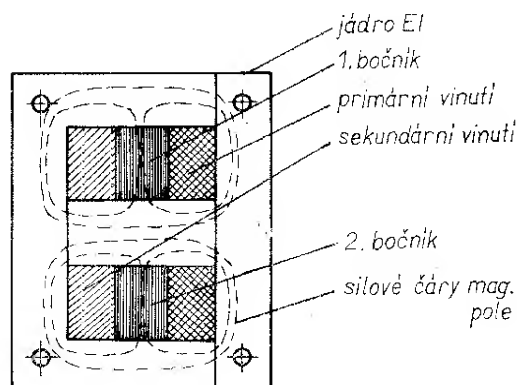
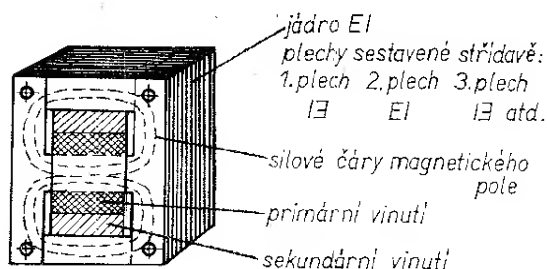
$$R_3 = \frac{U_1 - U_2 - U_3}{0,05} \quad [\Omega; V, A],$$

kde  $U_1$  je napětí nabíječe bez připojeného akumulátoru,  
 $U_2, U_3$  jsou napětí Zenerových diod  $D_2, D_3$ ,  
 0,05 A je proud žárovkou (50 mA = 0,05 A).

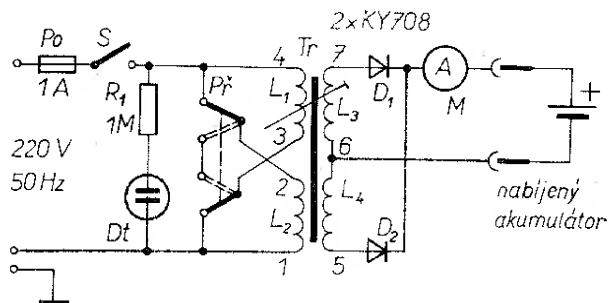
### Nabíječ s rozptylovým transformátorem

Podstatou tohoto způsobu konstrukce nabíječe je úprava magnetického obvodu transformátoru. Upravíme-li totiž magnetický obvod transformátoru tak, aby všechny silové čáry magnetického pole primárního vinutí neprošly do obvodu sekundární cívky, ale aby „si našly“ zčásti jinou cestu, zmenšíme účinnost transformátoru. Přenos napětí naprázdno je stále stejný a je dán převodem transformátoru (poměrem závitů primárního a sekundárního vinutí). Menší je však zkratový proud. Při odběru proudu se transformátor přesycuje, a není (od určitého proudu) schopen přenést do sekundárního obvodu větší výkon. Nastavitelnými magnetickými bočníky lze regulovat zkratový a nabíjecí proud pro akumulátor tak, jako by šlo o nabíječ s odporovým omezením nabíjecího proudu. Nevýhodou nabíječe s rozptylovým transformátorem je, že může být pouze jednoúčelový, tj. pouze pro jeden nebo dva nabíjecí proudy. Princip rozptylového transformátoru je na obr. 44. Na obr. 44a je běžný transformátor na jádru EI. Primární i sekundární vinutí jsou na společné cívce – proto je jejich magnetická vazba velmi těsná. Případný zkratový proud na se-

kundární straně je omezen pouze činným odporem měděného drátu cívky, který bývá velmi malý. Zkratový proud je proto tak velký, že transformátor může „shořet“. Rozdělíme-li primární vinutí na dvě části, a umístíme-li mezi kostry cívek magnetické bočníky, vytvoříme magnetickému poli novou cestu, ovlivníme jeho rozložení (obr. 44b) a můžeme ho regulovat změnou v ulo-



Obr. 44. a – sestava běžného transformátoru s jádrem EI, b – jádro EI s rozdělenými primárními a sekundárními cívkami a magnetickými bočníky

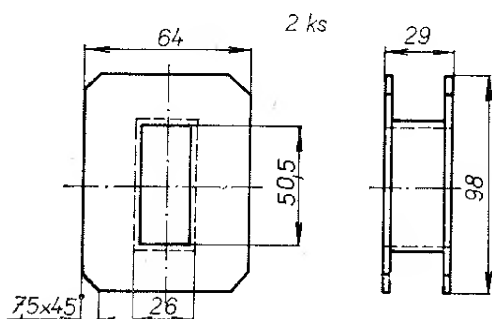


Obr. 45. Celkové schéma nabíječe s rozptylovým transformátorem

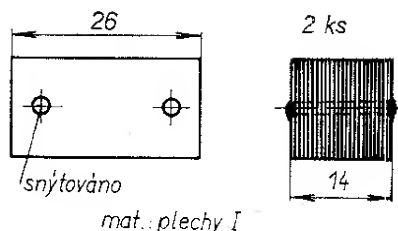
žení bočníků, jejich vysouváním či mezerou mezi jádrem transformátoru a bočníkem. Tím lze měnit sekundární zkratový proud – v našem případě ho lze nastavit na velikost do 10 A.

Schéma nabíječe je na obr. 45. Nabíječ je napájen ze sítě 220 V přes pojistku a síťový spínač. Primární vinutí transformátoru je rozděleno do dvou sekcí  $L_1$  a  $L_2$ , které jsou v běžném případě, tj. při spojení vývodů 2, 4 a 3, 1 transformátoru zapojeny paralelně. Přepneme-li přepínač  $Př$  do druhé polohy, spojí se vinutí  $L_1$  a  $L_2$  do série, pak se nabíjecí proud podstatně zmenší a nabíječ slouží pro velmi pomalé nabíjení (dobíjení) akumulátorů, nebo k nabíjení motocyklových akumulátorů. Naprázdno je na sekundárních cívkách napětí asi  $2 \times 23$  V ( $L_3$ ,  $L_4$ ). Toto napětí se diodami  $D_1$  a  $D_2$  dvoucestně usměrní. Diody umístíme na chladiče, vzájemně izolované, z duralového nebo hliníkového plechu tloušťky 1 až 2 mm o ploše 100 až 200 cm<sup>2</sup>. Měřidlo  $M$  je kontrolní ampérmetr. Ampérmetr můžeme vynechat, spolehneme-li se na předem ověřené nabíjecí proudy u akumulátoru jednoho (námi používaného) typu. Zapnutí nabíječe lze indikovat doutnavkou s předřadným odporem.

Nabíječem lze bez jakéhokoli přepínání nabíjet akumulátory 6 i 12 V. Jak již bylo uvedeno, jsou-li cívky primárního vinutí paralelně, dává nabíječ maximální proud k nabíjení automobilového akumulátoru, přepojíme-li je do série, lze nabíjet značně menším proudem akumulátory pro motocykly. Konstruk-



Obr. 46. Tělísko cívky primárního i sekundárního vinutí

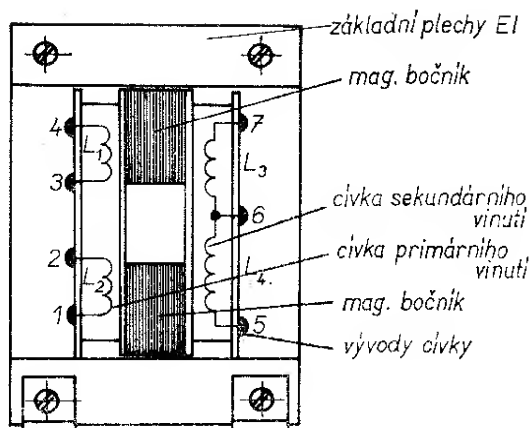


Obr. 47. Magnetický bočník

ce předpokládá, že si počáteční nabíjecí proud nastavíme napevno bočníkem při stavbě nabíječky – proud pak již nelze regulovat, neboť bočník je s transformátorem pevně spojen. Trvalý nabíjecí proud je možno nastavit v rozmezí asi 3 až 8 A. K ujasnění uvedeme několik konkrétních údajů, získaných při zkoušení hotového nabíječe. Máme-li např. akumulátor 12 V, 40 Ah, nastavíme bočníky transformátoru tak, aby nabíječ nabíjel zcela vybitý akumulátor proudem 4 až 4,5 A. Během nabíjení se proud pak zmenší asi o 1 až 1,5 A. Budeme-li při stejné nastavených bočnících nabíjet akumulátor 6 V, bude nabíjecí proud zhruba o 1 až 2 A větší. Spojíme-li přepínačem obě primární vinutí do série, bude maximální výstupní proud nabíječe asi 0,5 A, což je proud, právě vhodný pro akumulátory motocyklů. Znovu upozorňujeme, že uvedená čísla jsou získána měřením na konkrétním nabíječi a že u nabíječe s jinak nastavenými magnetickými bočníky se budou od uvedených lišit.

Popis mechanických částí nabíječe omezíme na popis rozptylového transformátoru. Tělísko cívky pro primární a sekundární vinutí je na obr. 46, tělísko (kostra) cívky je z tvrdého papíru nebo z tenkého pertinaxu, popř. z tvrzeného papíru. Magnetický bočník je na obr. 47, je to v podstatě svazek plechů I, které jsou snýtovány do sloupku  $26 \times 14$  mm. Celková sestava rozptylového transformátoru je na obr. 48. Magnetický bočník (jeho polohu) zajistíme po nastavení požadovaného nabíjecího proudu přilepením např. Epoxy 1200. Konstrukci celé nabíječky si může každý upravit podle součástek, které má k dispozici, především podle síťového transformátoru. Nezapomeňte však na do-





Obr. 48. Celková sestava rozptylového transformátoru

statek větracích otvorů a pečlivě zhotovte především ty části, na nichž je napětí sítě. Vraťme se ještě jednou k obr. 46 – vhodná tloušťka materiálu na kostru cívky je asi 1 až 1,5 mm. Cívka musí být mechanicky stabilní. Na jednu cívku navineme primární, na druhou sekundární vinutí. Vhodný je způsob „závit vedle závit“, jednotlivé vrstvy prokládáme transformátorovým papírem. Počet vrstev je uveden v rozpisce součástek. Jádru transformátoru je složeno z padesáti plechů EI50×25, střídavě, tloušťka jednoho plechu je 0,5 mm. Magnetické bočniky obsahují každý celkem 28 plechů. Plechy snýtujeme nejlépe nemagnetickými nýty (mosaz, měď, hliník). Hlavy nýtů je třeba co nejvíce zapustit a příp. upilovat.

Celý transformátor je vhodné po přezkoušení funkce nabíječky demontovat a ponořit jej do impregnačního laku. Tím se nejen zpevní cívky a celá konstrukce, ale zabrání se i navlhání transformátoru.

#### Rozpiska součástek

##### Diody

$D_1, D_2$  KY708

##### Spínač, přepínač

$S$  dvoupólový síťový spínač (je-li jako přívod sítě „žehličková šňůra“), jednopólový spínač (je-li síť přivedena třípramennou šňůrou s tříkolíkovou zástrčkou)

$Př$  dvoupólový páčkový přepínač

##### Ostatní součástky

$Po$  trubičková pojistka s pouzdrém (1 A)

$M$  ampérmetr s rozsahem 10 A

#### Transformátor

$Tr$  jádro – plechy EI 50×25, celkem 50 plechů, skládat střídavě, efektivní průřez jádra 11,9 cm<sup>2</sup>, syčení 1,11 T, 3,41 z/1 V; 750 z drátu o  $\varnothing$  0,375 mm + 3krát lesklá lepenka tl. 0,3 mm, šířky 27 mm; cívka má celkem 16 vrstev závitů;

$L_2$  stejně jako  $L_1$ ;

$L_3$  80 z drátu o  $\varnothing$  1,4 mm + 2krát lesklá lepenka tl. 0,3 mm, šířky 27 mm; cívka má celkem 6 vrstev závitů;

$L_4$  stejně jako  $L_3$

Každou vrstvu vinutí je třeba proložit jednou transformátorovým papírem 0,03×27 mm.

#### Nabíječe pro uzavřené články NiCd

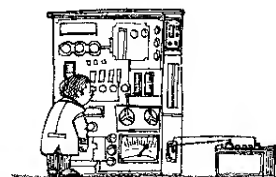
K nabíjení uzavřených článků NiCd je třeba používat nabíječe s charakteristikou I (obr. 17). Články sepoužívají nejčastěji u přenosných elektronických zařízení, pro něž je vhodná jejich vybíjecí charakteristika – jsou totiž schopné pracovat se stálým svorkovým napětím až téměř do úplného vyčerpání kapacity, což je jejich největší předností vzhledem k suchým článkům (burelovým).

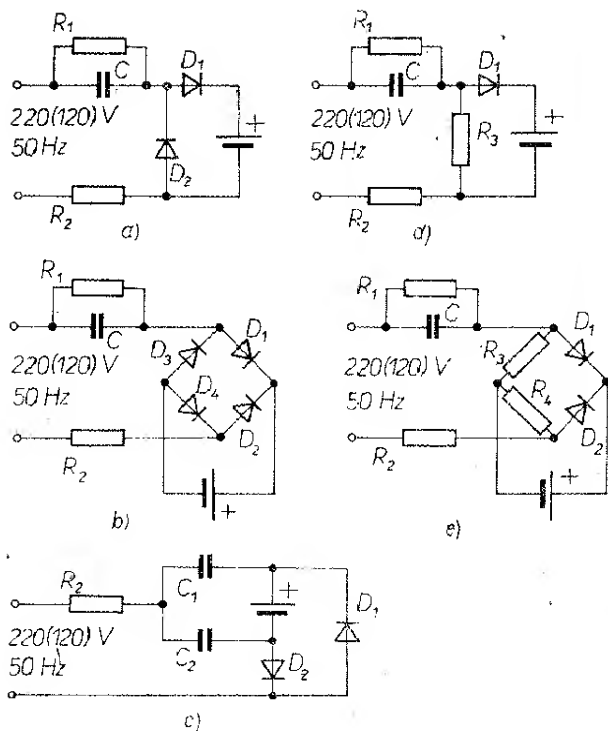
Výrobce obvykle udává nejvhodnější nabíjecí proud, při jeho překročení se pak může porušit kompaktnost článku a může vytékat jeho náplň. Nepřekročí-li se nabíjecí proud, „vydrží“ tyto články i značné přebíjení.

Uzavřené niklokadmiové články se nejčastěji doporučuje nabíjet proudem, rovnajícím se 1/10 kapacity. Např. článek s kapacitou 225 mAh se nabíjí proudem 22 mA po dobu 14 až 16 hodin. Protože se málokdy používají jednotlivé články, je nabíječ obvykle řešen tak, že je schopen nabíjet několik článků současně a bývá umístěn obvykle přímo ve spotřebiči.

Nejjednodušší nabíječe bývají v pouzdrech kapesních svítilen. Na obr. 49a je schéma typického nabíječe, jímž je např. vybavena kapesní svítilna pro nabíjení ze sítě, výrobek družstva Mechanika Praha (obr. 50, 51). Tato svítilna obsahuje dva uzavřené články NiCd s kapacitou 225 mAh.

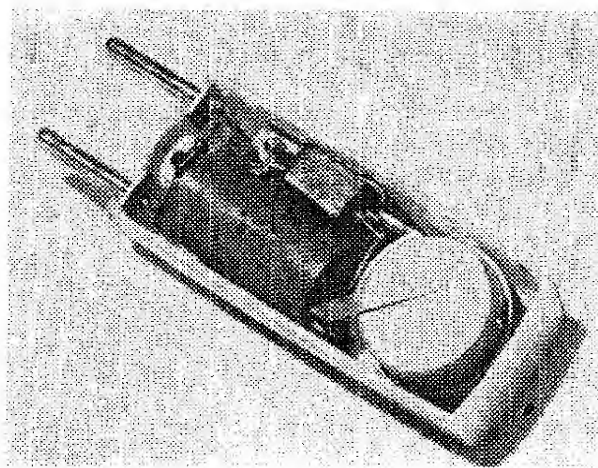
Proud tekoucí do nabíjených článků je omezován kondenzátorem C. Jedna půlka proudu prochází obvodem





Obr. 49. Nejjednodušší typy nabíječů pro uzavřené články NiCd

$C - D_1$  – akumulátor –  $R_2$  a opačná půlvlna obvodem  $R_2 - D_2 - C$ . Oba články (akumulátor) jsou tedy nabíjeny první půlvlnou. V druhé půlvlně se náboj kondenzátoru vybíjí přes obvod diody  $D_2$ . Odpor  $R_1$  slouží k vybití kondenzátoru po vyjmutí přístroje ze síťové zásuvky. Odpor  $R_2$  chrání diody před špičkovými

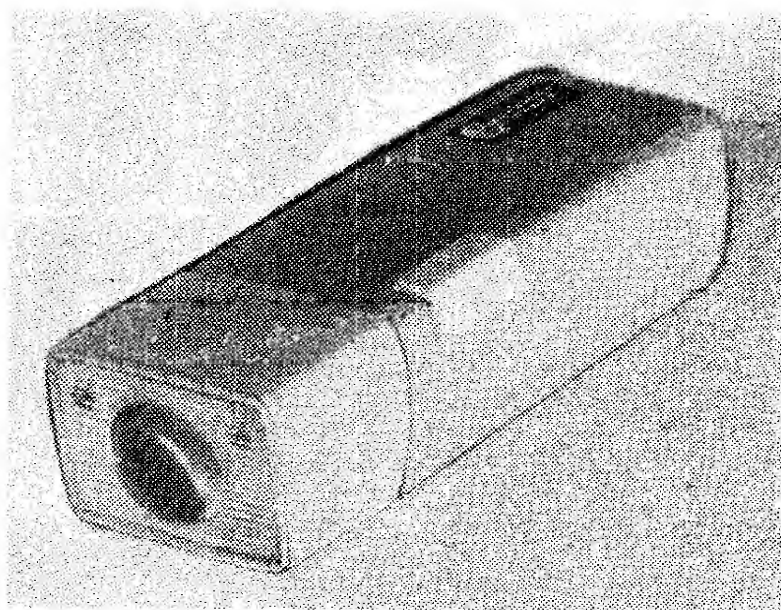


Obr. 51. Nabíječ v kapesní svítilně

mi proudy při připojení svítilny k síti. Diody nemusí být dimenzovány na velké závěrné napětí, neboť dokud je připojen na výstup usměrňovače (nabíječe) akumulátor, chrání vždy jedna dioda druhou diodu před zvětšením závěrného napětí na úroveň napětí sítě. Jednou z diod totiž protéká proud v propustném směru a napětí na diodě nebude větší než 1 V. Kondenzátor  $C_1$  musí být dimenzován na napětí sítě. Jeho kapacitu lze vypočítat ve vztahu

$$C = 6,5I/U \quad [\mu F; mA, V],$$

kde  $I$  je nabíjecí proud akumulátoru a  $U$  napětí sítě (50 Hz).



Obr. 50. Kapesní svítilna

U některých „kapesních“ nabíječů se používá můstkový usměrňovač, schéma nabíječe se pak změní podle obr. 49b. K výpočtu kapacity kondenzátoru se pak použije vztah

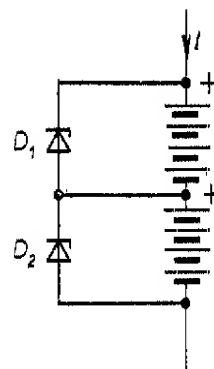
$$C = 3,3I/U,$$

neboť proud protéká akumulátorem v obou periodách (v obou půlvlnách).

V praxi se používá ještě mnoho dalších variant základního zapojení nabíječe, např. na obr. 49d je dioda  $D_2$  nahrazena odporem, na obr. 49e jsou dvě diody můstkového usměrňovače nahrazeny odporem atd. Dvoucestného usměrnění lze dosáhnout i zapojením nabíječe podle obr. 49c, v němž jsou použity dva kondenzátory.

Chceme-li nabíjet uzavřené niklo-kadmiové články větší kapacity, je vhodné použít nabíječ, v němž se používá k řízení proudu tranzistor.

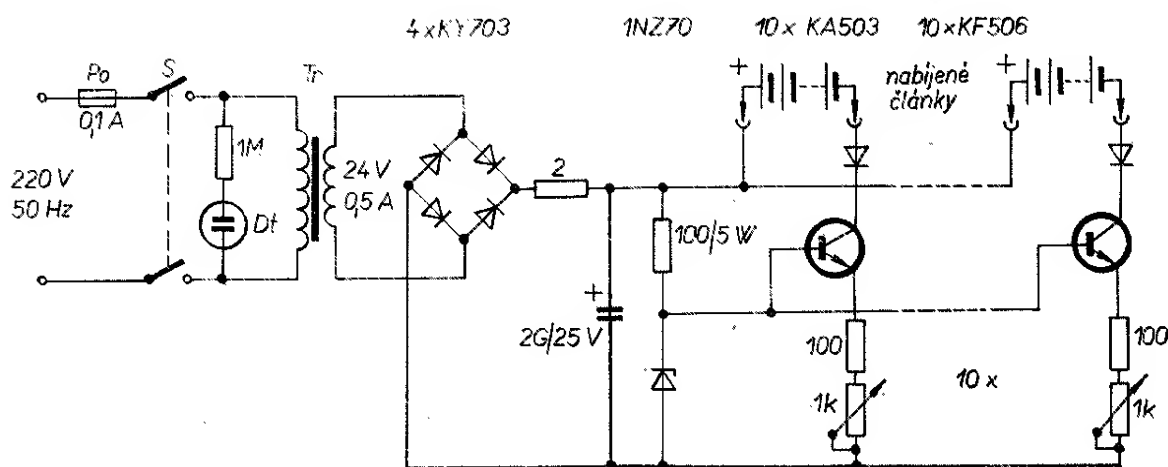
Někdy potřebujeme, aby byl akumulátor připojen k nabíječi trvale a aby se jeho vlastností využívalo pouze při výpadku sítě. S takovými obvody se setkáváme u elektrických hodin, nebo u zařízení s polovodičovou pamětí, která ztrácí informaci při výpadku sítě. V takových případech je třeba zajistit, aby se akumulátory nenabíjely trvale. Toho lze dosáhnout např. připojením Zenerovy diody paralelně k několika článkům, princip zapojení je na obr. 52. Dosáhne-li napětí na článcích Zenerova napětí diody, začne proud z nabíječe



Obr. 52. Ochrana uzavřených článků před přebíjením

protékat Zenerovou diodou – tím se zabývá přílišnému přebíjení článků. Zenerovy diody musí být samozřejmě vybrány tak, aby jejich napětí bylo shodné s napětím správně nabitých článků. Charakteristika použitých diod musí být co nejstrmější.

Chceme-li nabíjet větší množství uzavřených článků NiCd, např. v modelářských klubech nebo v nabíjárnách, lze jako nabíječ použít zapojení z obr. 53. Nabíječ tohoto zapojení je založen na stabilizaci proudu tranzistorem, jako referenční napětí je však použito společné stabilizované napětí. Ke každému z deseti tranzistorů lze připojit až deset článků v sérii. Proud v jednotlivých větvích nabíječe lze nastavit proměnnými odpory  $1\text{ k}\Omega$  v emitorech tranzistorů; podle zvoleného pevného odporu



Obr. 53. Nabíječ většího množství uzavřených článků NiCd

Ize tak měnit proud v rozmezí 5 až 40 mA.

### Tranzistorový nabíječ s charakteristikou I

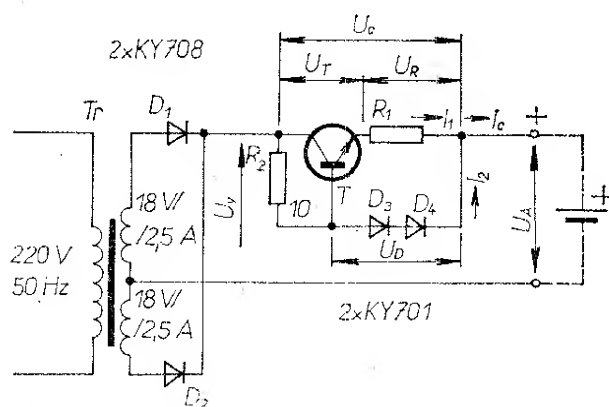
Nabíječ s kondenzátorem, který byl popisován v předcházejících kapitolách, měl charakteristiku podobnou charakteristice I (obr. 17). Zdroje s touto charakteristikou nazýváme zdroje proudu. Tento pojem je poněkud neobvyklý. Každý celkem snadno pochopí, jak pracuje zdroj konstantního napětí (charakteristika U). Zdroj konstantního napětí se vyznačuje malým vnitřním odporem (takovou vlastnost má právě např. akumulátor). Jsou však i zdroje, které mají za určitých podmínek vnitřní odpor nulový nebo záporný. Zvětšuje-li se u takového zdroje odběr proudu, zvětšuje se i svorkové napětí zdroje. Zdroje se záporným nebo nulovým vnitřním odporem lze konstruovat pomocí základních elektronických prvků.

Zdrojem proudu je zdroj, jehož vnitřní odpor je velký a v ideálním případě nekonečný. Připojíme-li k podobnému zdroji zátěž, která mění svůj odpor ve velkém rozsahu, je zdroj konstantního proudu schopen dodávat do této zátěže stále stejný proud. Přitom se pochopitelně mění napětí na zátěži. Zdroj proudu lze realizovat poměrně snadno. Lze postavit i zdroj, který slučuje vlastnosti napěťového a proudového zdroje – zdroj pak obvykle pracuje do určitého napětí na zátěži jako proudový zdroj, začne-li se zatěžovací odpor dále zvětšovat, chová se pak zdroj jako zdroj napětí.

Plynulou regulaci proudu zátěží umožňuje tranzistor, zapojený jako zdroj proudu. Této vlastnosti tranzistoru můžeme využít při konstrukci nabíječe, jímž pak lze nastavit výrobcem předepsaný proud k nabíjení akumulátoru a tento proud dodržet po celou nabíjecí dobu. Nevýhodou řízení proudu tranzistorem je, že proud je řízen změnou vnitřního odporu tranzistoru, na němž tak vzniká značná výkonová ztráta. Ztráta je součinem proudu a napětí na tranzistoru a celá se přeměňuje

v teplo, které se musí vyzářit buď povrchem pouzdra tranzistoru nebo chladičem. V praxi to znamená, že s hlediska vyzařovaného tepla je na tom regulační tranzistor stejně jako omezovací odpor. Při konstrukci nabíječe jsme proto omezení především maximální dovolenou ztrátou regulačního tranzistoru. Vezmeme-li v úvahu cenové relace na trhu výkonových tranzistorů, malou energetickou účinnost a náročnost na konstrukci (chlazení), jsou tranzistorové regulátory do jisté míry luxusem. Ekonomicky zdůvodnitelné jsou zdroje s výstupním proudem do 1 A. V oblasti výstupních proudů od 1 do 6 A jsou již všechny uvedené nevýhody zřejmé a konstruktér se setká při návrhu těchto zdrojů s potížemi. Regulace proudů nad 10 A tranzistory je se součástkovou základnou, kterou máme k dispozici, většinou z ekonomických důvodů neúnosná.

Nejlépe si celou problematiku a jednoduchý způsob návrhu tranzistorového zdroje proudu osvětlíme na jednoduchém stabilizátoru proudu podle obr. 54. Transformátor  $Tr$  a diody  $D_1$  a  $D_2$  jsou zdrojem stejnosměrného napětí  $U_v = 18$  V. Předpokládejme, že na výstupních svorkách je připojen akumulátor, který má po připojení nabíječe svorkové napětí  $U_A = 13$  V. Diody  $D_3$  a  $D_4$  jsou zapojeny v propustném směru, jsou to křemíkové diody. Vlivem strmého náběhu jejich přední charakteristiky (charakteristiky v propustném směru) je úbytek napětí  $U_D$  na



Obr. 54. Jednoduchý stabilizátor proudu

diodách poměrně stálý, i když se proud  $I_2$  mění. Úbytek  $U_D$  je přibližně 1,5 V. Proud  $I_2$  je v našem případě

$$I_2 = \frac{U_V - U_A - U_D}{R_2} = \frac{3,6}{10} = 0,36 \text{ A} \approx 350 \text{ mA}.$$

Chceme-li, aby proud do zátěže byl  $I_c = 5 \text{ A}$ , je proud tranzistorem  $I_1 = I_c - I_2 = 5 - 0,35 = 4,65 \text{ A}$ . Tranzistor je otevřen proudem, tekoucím do báze přes odpor  $R_2$ . Začne-li tranzistorem protékat proud, utvoří se na  $R_1$  úbytek napětí a přibližně ve chvíli, kdy bude úbytek napětí na odporu  $R_1$  stejný jako napětí  $U_D$ , začne se tranzistor zavírat. Pro proud  $I_1 = 4,65 \text{ A}$  vypočítáme  $R_1$  ze vztahu  $R_1 = U_R/I_1$ ,  $R_1 = 1,5/4,65 \approx 0,2 \Omega$ . Na tranzistoru  $T$  je pak úbytek napětí  $U_T = U_c - U_R \approx 3,5 \text{ V}$ . Protože tranzistorem protéká proud 4,65 A, je ztráta na něm  $P = U_T I_1 = 3,5 \cdot 4,65 = 16,5 \text{ W}$ . Proud do zátěže je stabilizován, mění-li se zátěž, mění se i úbytek napětí  $U_T$ . Výstupní charakteristika zdroje se pak přibližuje charakteristice  $I$  na obr. 17, avšak pouze do té doby, dokud se napětí na výstupu zdroje (dané součinem  $I_c$  a odporu zátěže) nepřiblíží napětí  $U_V$ . Napětí  $U_V$  je na výstupních svorkách vždy, není-li k výstupu připojena zátěž.

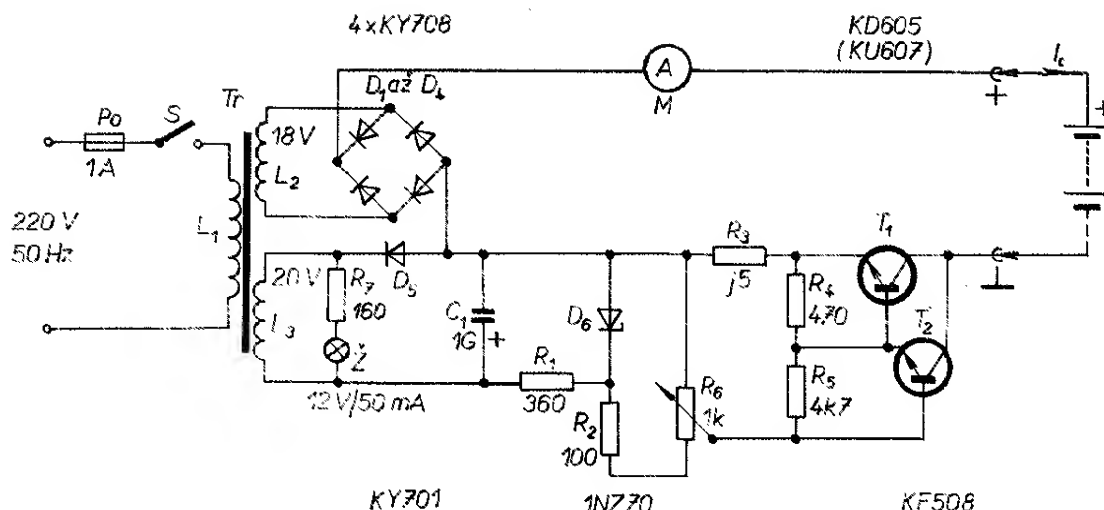
Z hlediska teplotních poměrů na tranzistoru  $T$  je nejhorším případem stav, je-li na výstupních svorkách zdroje zkrat. Potom je  $U_A = 0$  a  $U_c = U$ ;  $U_T = U_c - U_R = 18 - 1,5 = 16,5 \text{ V}$ . Na tranzistoru je ztráta  $P = U_T I_1 = 16,5 \cdot 4,65 = 77 \text{ W}$ . Po- uijeme-li jako  $T$  výkonový tranzistor např. KU607, „vydrží“ tranzistor tento výkon po velmi krátkou dobu (má mezní dovolenou ztrátu  $P_{tot}$  při okolní teplotě do 35 °C nejvíce 70 W).

Většina zdrojů proudu je konstruována v zásadě podle uvedeného principu. Obvyklé je, že se výstupní proud přepíná hrubě změnou sériového odporu  $R_1$  a jemně se nastavuje změnou napětí báze tranzistoru. Zdroj podle obr. 54 nemá dobré stabilizační vlastnosti. Rozdíl mezi proudem do zkratu

a proudem do zátěže je u něho příliš velký. Při tomto zapojení se totiž uplatňuje velmi mnoho záporných vlivů, které činnost stabilizátoru narušují, lépe řečeno, ovlivňují průběh jeho charakteristiky (napětí na bázi, které má být konstantní, se mění v závislosti na napětí  $U_c$ , při výpočtu se neuvažovalo napětí  $U_{BE}$ , při větších proudech má tranzistor malé zesílení, takže se ani neotevře na potřebnou hodnotu apod.). Z uvedeného důvodu bývají obvykle zdroje konstantního proudu složitější, mají velké zesílení ve zpětnovazební smyčce a velmi stálé referenční napětí. Výhodou takto konstruovaných zdrojů je přesnost nastavení, dobrý činitel stabilizace výstupního proudu apod. Používáme-li podobný zdroj k nabíjení akumulátorů, může být regulační prvek zdroje konstantního proudu oceňován přímo v ampérech a nepotřebujeme tedy kontrolní ampérmetr, neboť zdroj dodává do akumulátoru v každém bodu nabíjecí křivky stále stejný, předem zvolený a nastavený proud.

Na obr. 55 a 56 jsou dva zdroje konstantního proudu, vhodné k nabíjení akumulátorů. Na obr. 55 je zdroj jednodušší, spíše jednoúčelový, vhodný k nabíjení šesti i dvanáctivoltových akumulátorů. U nabíječe lze nastavit nabíjecí proud potenciometrem  $R_6$ , a to v rozsahu 0,3 až 6 A. Princip činnosti tohoto nabíječe-zdroje konstantního proudu je obdobný činnosti zdroje z obr. 54.

Síťový transformátor má na sekundární straně dvě vinutí, jedno pracovní k napájení vlastního zdroje ( $L_2$ , 18 V/6 A) a jedno pomocné k vytvoření referenčního napětí ( $L_3$ , 20 V/400 mA). Referenční napětí se získává na Zenerově diodě 1NZ70 (asi 6 V) po usměrnění střídavého napětí diodou  $D_5$ . Odpo- rem  $R_2$  lze vymezit rozsah regulace výstupního proudu, proud do akumulátoru při nabíjení lze regulovat potenciometrem  $R_6$ . Umístíme-li pod hřídel potenciometru na panelu nabíječe stupnici (a oceňujeme-li stupnici ve výstupních proudech), lze ze zapojení zcela vypustit ampérmetr. Proud lze nastavit se stejnou přesností, s níž ho



Obr. 55. Tranzistorový zdroj proudu s jedním rozsahem

dokážeme změřit běžným měřicím přístrojem (tj. asi 1 %).

Tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  jsou zapojeny jako Darlingtonova dvojice; z vnějšího pohledu lze tuto dvojici považovat za jeden tranzistor, jehož proudové zesílení  $h_{21E}$  je součinem proudového zesílení obou tranzistorů. Přiblíží-li se napětí na sběrném odporu  $R_3$  velikosti napětí na bázi  $T_2$  (referenční napětí Zenerovy diody na běžci potenciometru  $R_6$ ), začne se tranzistor zavírat a proud do akumulátoru se zmenšuje. Úbytek napětí na odporu  $R_3$  je úměrný protékajícímu proudu. Změnou  $R_6$  se mění napětí na bázi tranzistoru  $T_2$  a tím se reguluje proud do akumulátoru.

Oproti schématu na obr. 54 je u tohoto zapojení vyveden kolektor regulačního tranzistoru až na výstupní svorku nabíječky. To umožňuje uzemnit záporný vývod nabíječky na kostru (šasi) a chladič pro tranzistor  $T_1$  může být součástí šasi nabíječky.

Největším konstrukčním problémem je velikost chladiče tranzistoru  $T_1$ . Pokud bychom-li nabíječku k nabíjení akumulátoru 12 V, je třeba „uchladit“ ztrátu asi 36 W (orientačně 18 V — 12 V, tj. 6 V · 6 A). Při nabíjení akumulátoru 6 V by to byla ztráta asi 68 W. Při zkratu na výstupu by byla ztráta  $P = 18 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 108 \text{ W}$ .

U dokončené nabíječky musíme trva-

lý nabíjecí proud určit podle použitého typu tranzistoru a především podle jeho chladiče, který musí vyzářit teplo, odpovídající ztrátě tranzistoru. Z tuzemských tranzistorů TESLA přicházejí v úvahu především tyto typy: KU605 (50 W), KU607 (70 W), KUY12 (70 W), KD501 až KD503 (150 W) a KD605 až KD607 (70 W).

### Seznam součástek

#### Transformátor

$T_r$  plechy EI 40 × 40, 3 z/1 V;  $L_1$  (220 V) 630 z drátu  $\varnothing 0,5 \text{ mm CuL}$ ,  $L_2$  (18 V) 56 z drátu  $\varnothing 1,8 \text{ mm CuL}$ ,  $L_3$  (20 V) 63 z drátu  $\varnothing 0,5 \text{ mm CuL}$

#### Polovodičové prvky

$T_1$  tranzistor KD605 (KU607)  
 $T_2$  tranzistor KF508  
 $D_1$  až  $D_4$  diody KY708  
 $D_5$  dioda KY701  
 $D_6$  Zenerova dioda 1NZ70

#### Odpory

$R_1$  TR 153, 360  $\Omega$   
 $R_2$  TR 151, 100  $\Omega$   
 $R_3$  vinutý, samonosný 0,5  $\Omega$   
 $R_4$  TR 151, 470  $\Omega$   
 $R_5$  TR 151, 4,7 k $\Omega$   
 $R_6$  potenciometr lineární, TP 280, 1 k $\Omega$   
 $R_7$  TR 153, 160  $\Omega$

#### Kondenzátor

$C_1$  TC 936, 1000  $\mu\text{F}/25 \text{ V}$

#### Ostatní součásti

$\mathcal{Z}$  telefonní žárovka 12 V/0,05 A  
 $M$  ampérmetr 0 až 6 A  
 $S$  spínač jednopólový  
 $P_0$  trubičková pojistka 1 A



Zdroj proudu s tranzistorem na obr. 56 je funkčně obdobný, výstupní proud je však vyhlazován kondenzátorem  $C_2$ . Referenční napětí ze Zenerovy diody se opět zavádí do báze regulačních tranzistorů, zapojených v Darlingtonově zapojení. Diody  $D_6$  slouží k teplotní kompenzaci referenčního napětí. Takto upravená nabíječka může sloužit jako univerzální zdroj konstantního proudu nejen k nabíjení různých typů akumulátorů a článků, ale i jako laboratorní zdroj k měření předního napětí polovodičových diod, tranzistorů, Zenerových diod atd. a jako zdroj pro „malou galvanizaci“ apod. Přepínačem  $Př_1$  se přepínají odpory (snímací) v emitoru řídicího tranzistoru, čímž se hrubě přepíná rozsah regulace výstupního proudu. Zapojíme-li do přístroje i ampérmetr, je vhodné použít jako  $Př_1$  dvousegmentový přepínač („dvoupatrový“) a druhým segmentem přepínat rozsahy ampérmetru. Všechna doporučení k výběru výkonových tranzistorů platí pro zapojení na obr. 56 stejně jako pro zapojení na obr. 55. Je zřejmé, že na nižších

proudových rozsazích může zdroj pracovat bez nebezpečí poškození i do zkratu.

### Seznam součástek

#### Transformátor

$Tr$  plechy EI 40 × 40, 3 z/1 V;  $L_1$  (220 V) 603 z drátu o  $\varnothing$  0,5 mm CuL,  $L_2$  (18 V) 56 z drátu o  $\varnothing$  1,25 mm CuL,  $L_3$  jako  $L_2$

#### Polovodičové prvky

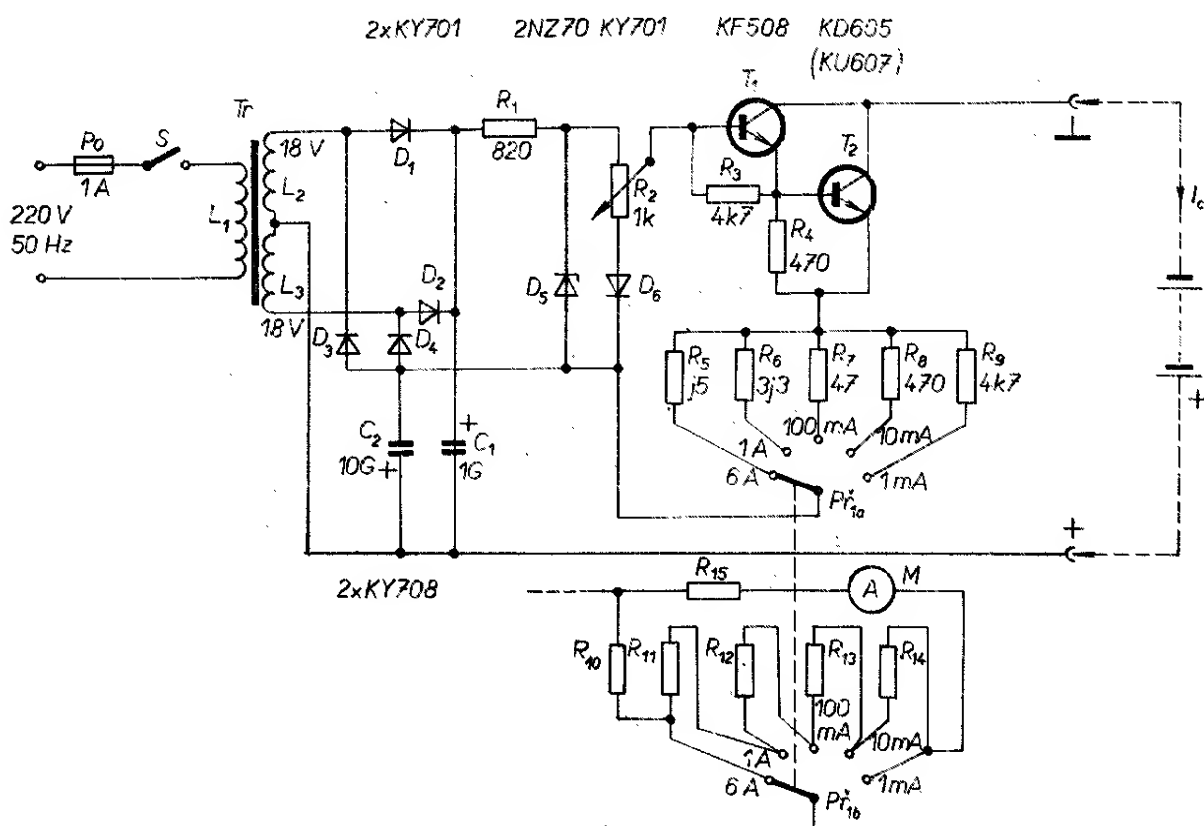
$T_1$  výkonový tranzistor KD605 (KU607)  
 $T_2$  tranzistor KF508  
 $D_1, D_2$  diody KY701  
 $D_3, D_4$  diody KY708  
 $D_5$  Zenerova dioda 2NZ70  
 $D_6$  dioda KY701

#### Odpory

$R_1$  TR 152, 820  $\Omega$   
 $R_2$  potenciometr lineární TP 280, 1 k $\Omega$   
 $R_3$  TR 151, 4,7 k $\Omega$   
 $R_4$  TR 151, 470  $\Omega$   
 $R_5$  vinutý, samonosný 0,5  $\Omega$   
 $R_6$  vinutý, samonosný 3,3  $\Omega$   
 $R_7$  TR 144, 47  $\Omega$   
 $R_8$  TR 144, 470  $\Omega$   
 $R_9$  TR 144, 4,7 k $\Omega$   
 $R_{10}$  až  $R_{15}$  bočníky podle druhu ampérmetru

#### Kondenzátory

$C_1$  TC 530, 1000  $\mu$ F/25 V  
 $C_2$  TC 934, 10 000  $\mu$ F/25 V



Obr. 56. Tranzistorový zdroj proudu s pěti rozsahy

## Tyristorové nabíječe s charakteristikou I

Mnohdy je třeba nabíjet několik akumulátorů, zapojených do série. Jsou to např. baterie akumulátorových vozíků, různé staniční baterie akumulátorů, nebo akumulátory v družstevních garážích apod. Dále popsány přístroji lze nabíjet větší množství akumulátorů zapojených do série jednotným nabíjecím proudem. Současně lze nabíjet akumulátory 6 V, 12 V i 24 V. Nabíjecí proud je přitom určen článkem nebo akumulátorem, který má nejmenší kapacitu v Ah. Slouží-li podobné zařízení v malé provozovně, do níž přicházejí zájemci s různými typy akumulátorů, zvolí se např. nabíjecí proud 4 A a tímto proudem se pak nabíjejí všechny akumulátory. V průběhu nabíjení lze nabité akumulátory odpojovat a nové přiřazovat podle potřeby, aniž by bylo nutno měnit nabíjecí proud. Každý akumulátor je třeba opatřit lístečkem s časem, kdy bude zvoleným proudem nabít. Omezujícím činitelem počtu akumulátorů je maximální napětí nabíječe.

Náročnějším zájemcům o stavbu nabíječů jsou určeny následující dva dru-

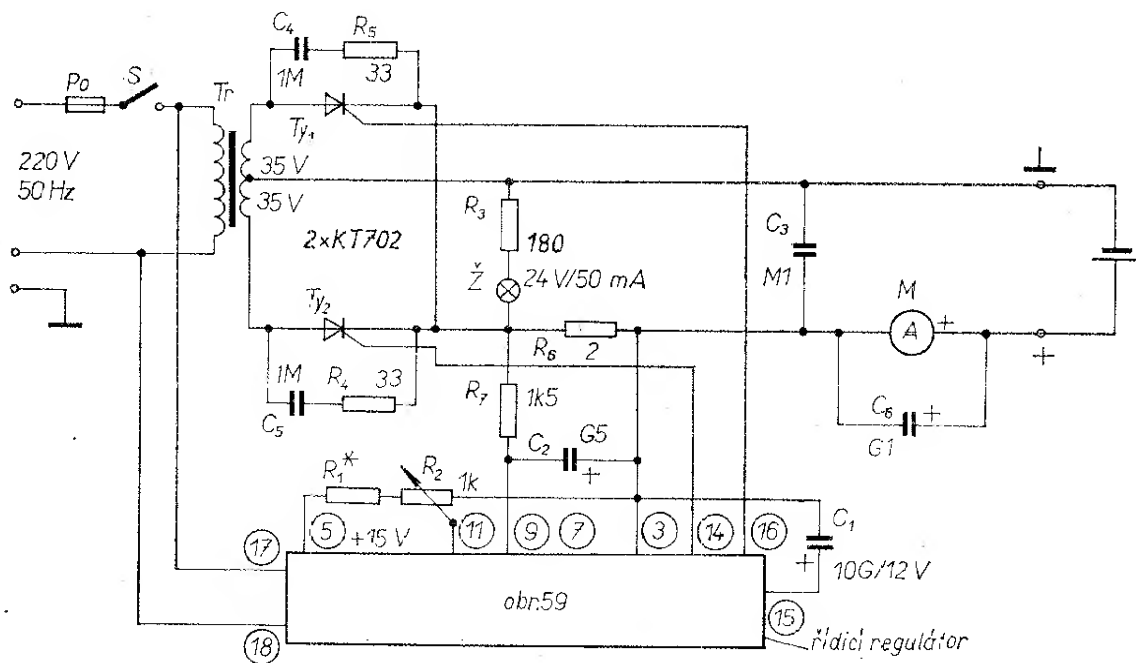
hy tyristorových nabíječů. Jeden pro nabíjení proudu v rozsahu 0,5 až 6 A (do napětí 30 V) podle obr. 57 a druhý podle schématu na obr. 58 pro proudy 1 až 15 A (do napětí 200 V). Oba nabíječe jsou v zásadě shodné a používají stejný řídicí obvod – regulátor pro tyristory.

Nabíječ podle obr. 57 je zdrojem proudu, dodávajícím do zkratu i do zátěže nastavitelný proud.

Tyristor je téměř bezeztrátový prvek, který má pouze dva pracovní stavy – otevřen, zavřen. V zavřeném stavu jím neprochází žádný proud. Je-li otevřen, vede-li proud, je na něm úbytek napětí jako na křemíkové usměrňovací diodě v propustném směru, tj. asi 0,7 V. Protéká-li tyristorem proud např. 3 A, je ztráta, na něm vznikající

$$P = UI = 0,7 \cdot 3 = 2,1 \text{ W}.$$

V klidovém stavu, tj. nepřivádíme-li na řídicí elektrodu tyristoru žádné impulsy, je tyristor uzavřen, nevede proud. Přijde-li na jeho řídicí elektrodu kladný impuls, tyristor se otevře a chová se jako křemíková dioda v propustném směru. Změní-li se polarita proudu, procházejícího tyristorem, tyristor se opět uzavře.



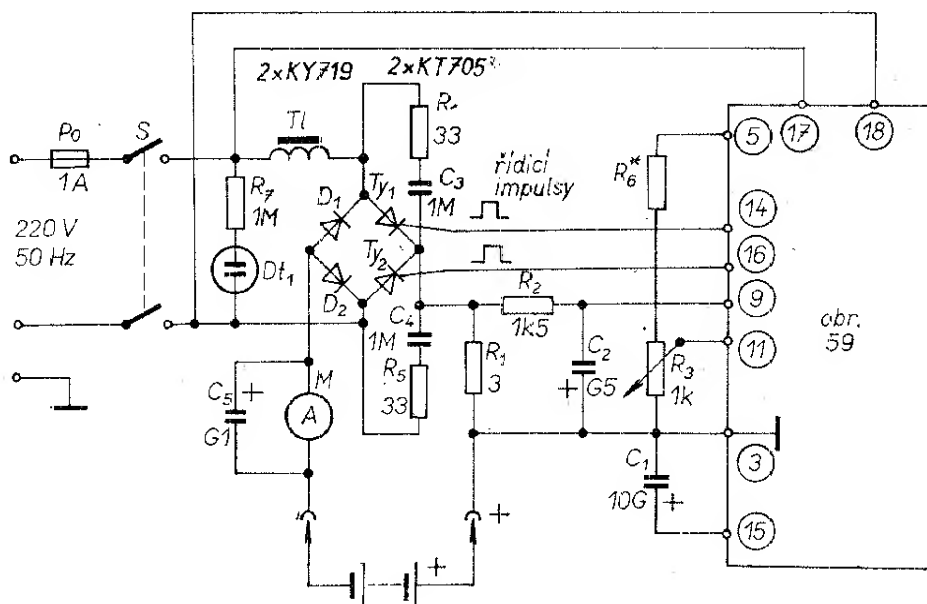
Obr. 57. Tyristorový nabíječ 1 až 6 A pro napětí 6 až 30 V  
(C<sub>6</sub> a C<sub>5</sub> mají mít obrácenou polaritu)

Řídicí impulsy, přicházející z regulátoru jsou fázově posunovány a mají kmitočet 100 Hz, synchronizovaný s kmitočtem síťového napětí. Proud zátěží se řídí tak, že se tyristor otevírá pouze po část periody a plní se tedy současně dvě funkce – řídicího členu a usměrňovače.

Činnost nabíječe lze stručně popsat takto: střídavé napětí ze sekundárního vinutí transformátoru se přivádí na dva tyristory  $T_{y1}$  a  $T_{y2}$ , které plní úlohu usměrňovačů a regulátorů proudu. Článek  $RC$ , připojený paralelně k tyristorům ( $C_4, R_5$  u  $T_{y1}$  a  $C_5, R_4$  u  $T_{y2}$ ) je tzv. plovoucí ochrana, zabráňuje zničení tyristoru přepětovými špičkami. Na omezovacím odporu  $R_6$  se utváří při průchodu proudu do zátěže úbytek napětí. Tento úbytek se zavádí do vstupu 9 řídicího regulátoru. V regulátoru se porovnává s referenčním napětím, které se z běžce potenciometru  $R_2$  přivádí na vstup 11 regulátoru. Řídicí regulátor je zapojen ve větvi záporné zpětné vazby. Je-li kladné napětí na vstupu 11 větší než kladné napětí na vstupu 9, mají výstupní impulsy na výstupech 14 a 16 takovou fázi, že zcela otevřou tyristory. Naopak, zvětší-li se napětí na  $R_6$  tak, že napětí v bodu 9 bude kladnější než napětí na vstupu 11, posune se fáze řídicích impulsů pro ty-

ristory tak, že se tyristory uzavřou. Z tohoto popisu činnosti vyplývá, že se výstupní proud mění změnou nastavení  $R_2$ . Protože se v řídicím regulátoru používá operační zesilovač s velkým zesílením, je zpětná vazba velmi těsná a nastavený proud by měl být v celém rozsahu regulace přesně konstantní. Bohužel tomu tak zcela přesně není, neboť stejnosměrné napětí v bodu 9, které z hlediska zpětné vazby můžeme nazvat napětím chybovým, není přesně úměrné efektivní velikosti protékajícího proudu. Kdybychom chtěli dosáhnout větší přesnosti („konstantnosti“) nastaveného proudu, bylo by třeba použít ke snímání napětí z odporu takový prvek, který by převedl nesinusové střídavé napětí na napětí stejnosměrné, úměrné efektivní velikosti napětí střídavého.

Proud do zátěže (nabíjecí proud akumulátoru) měříme ampérmetrem  $M$ . Použijeme-li deprezský přístroj, budou jeho údaje velmi nepřesné, neboť měřidlo s tímto systémem má výchylku ručky úměrnou střední hodnotě procházejícího proudu. Protože činitel tvaru výstupního proudu se od sinusového zvlněného tvaru značně liší, je třeba použít měřidlo, které měří efektivní velikost proudu (např. měřidlo s elektromagne-



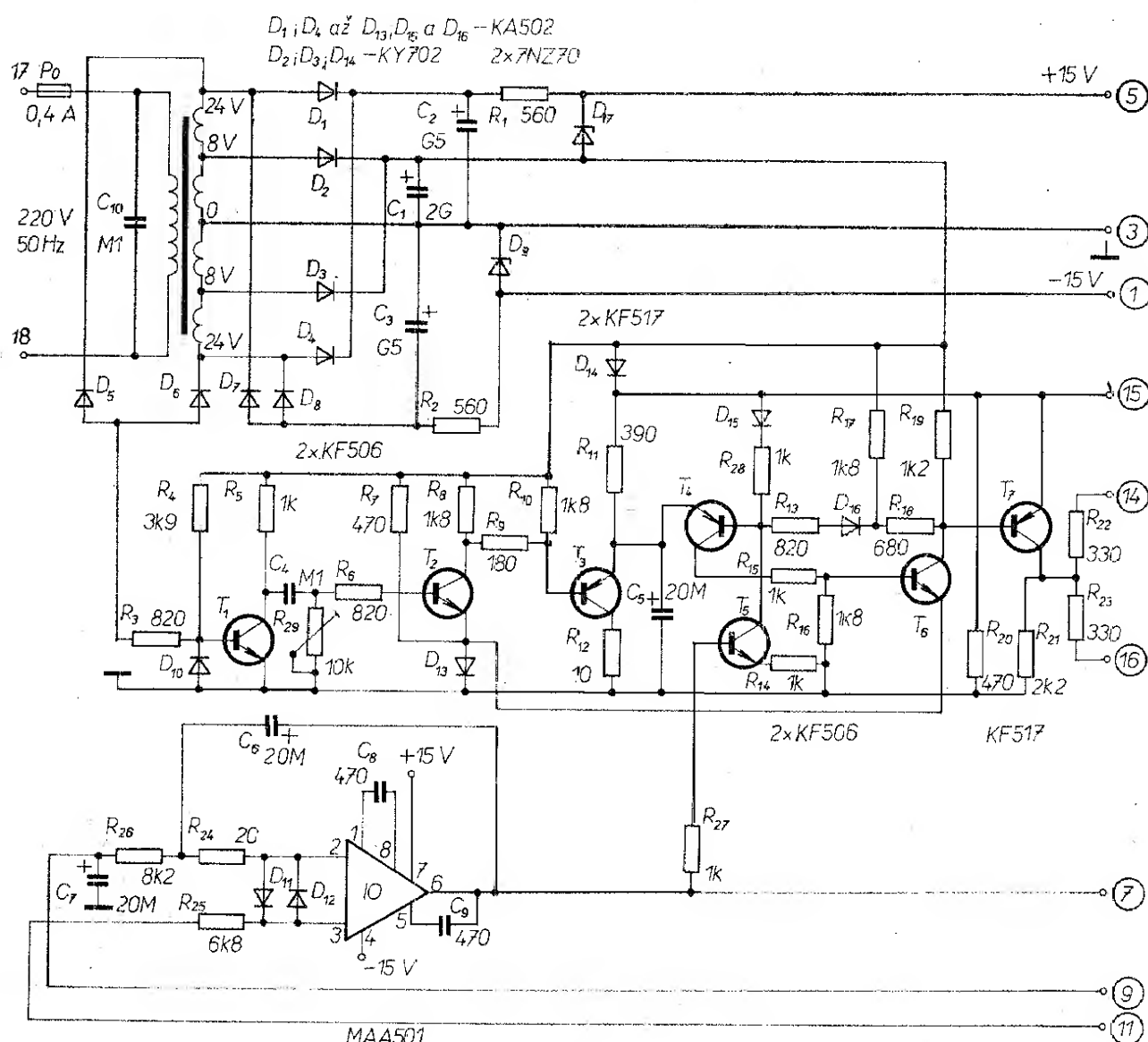
Obr. 58. Tyristorový nabíječ 1 až 15 A pro napětí 6 až 200 V ( $R = R_4$ )  
( $C_2$  a  $C_5$  mají mít obrácenou polaritu)

tickým systémem). Kondenzátor  $C_3$  filtruje pouze špičky napětí, vznikající při činnosti nabíječe.

Nabíječ na obr. 58 pracuje téměř shodně. Nabíječ nemá oddělovací transformátor a při nabíjení akumulátorů je třeba zajistit spoj: výstup nabíječe-svorky akumulátoru tak, aby při manipulaci s akumulátorem byl nabíječ vždy odpojen. K řízení proudu do akumulátoru se používá stejný řídicí regulátor jako na obr. 57 se stejnou zápornou zpětnou vazbou. Jako omezovací odpor pracuje  $R_1$ , na něm se vytváří úbytek napětí, úměrný protékajícímu proudu. Potenciometrem  $R_3$  se

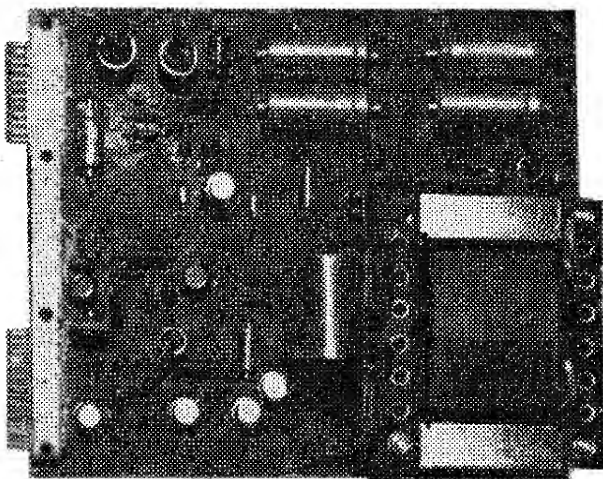
nastavuje proud do nabíjeného akumulátoru. Tlumivka  $T_7$  plní funkci omezovacího členu (její vzduchová mezera se nastavuje podle zkratového proudu při plně otevřených tyristorech; většinou vyhoví mezera kolem 0,5 mm). Zkratový proud by měl být maximálně 20 A.

Na obr. 59 je schéma řídicího regulátoru k řízení tyristorů. Celá jednotka je na desce s plošnými spoji včetně síťového transformátoru (obr. 60, str. 32). Řídicí jednotka je určena k řízení spínacího úhlu tyristorů v rozmezí 5 až 85°. Vstupní napětí 220 V musí být ve stejné fázi, jako napětí či proud, které chceme



Obr. 59. Řídicí regulátor

(bod 3 není spojen galvanicky s nulovým vodičem sítě)



Obr. 61. Deska s plošnými spoji z obr. 60 (viz str. 32) osazená součástkami

řídít. Napětí  $2 \times 24 \text{ V}$  ze síťového transformátoru se dvoucestně usměrňuje, filtruje a slouží k napájení stabilizačních (Zenerových) diod 7NZ70 ( $D_{17}$  a  $D_9$ ). Na výstupu je pak stabilizované napětí  $\pm 15 \text{ V}$  k napájení operačního zesilovače. Napájecí napětí pro regulační obvod s tranzistory  $T_1$  až  $T_7$  je nestabilizované. Filtrace kondenzátorem  $C_1$  většinou nestačí a obvykle je třeba přidat vně jednotky další filtrační kondenzátor s velkou kapacitou (u nabíječe na obr. 57 je to kondenzátor  $C_1$ , u nabíječe na obr. 58 kondenzátor  $C_1$ , oba  $10\,000 \mu\text{F}$ ).

Na bázi  $T_1$  je dvoucestně usměrněné napětí, z něhož se vytvářejí řídicí impulsy. Dioda  $D_{10}$  chrání přechod báze-emitor před zápornými špičkami napětí. Odpor  $R_3$  omezuje proud do báze  $T_1$ . Na kolektoru  $T_1$  se vytvářejí impulsy o šířce menší než  $1 \text{ ms}$  a o napětí  $10 \text{ V}$ .

Kondenzátor  $C_5$  se nabíjí přes odpor  $R_{11}$ . Vždy po příchodu impulsu na bázi  $T_3$  se tento tranzistor otevře a kondenzátor  $C_5$  se přes něj vybije, takže na  $C_5$  vznikají impulsy pilovitého průběhu o šířce  $10 \text{ ms}$ , synchronizované s kmitočtem sítě. Přijde-li z výstupu integrovaného zesilovače na bázi  $T_5$  kladné napětí,  $T_5$  se začne otevírat. Napětím z jeho kolektoru se otevírá i  $T_4$ , který plní úlohu porovnávacího členu – porovnává úroveň impulsů pilovitého prů-

běhu na  $C_5$  s napětím na bázi  $T_5$ . Na kolektorových odporech  $R_{15}$  a  $R_{16}$  je impuls, jehož přední hrana se posouvá úměrně se stejnosměrným napětím na bázi, tedy úměrně se změnami kladného napětí na výstupu integrovaného operačního zesilovače. Výstupní impuls z  $T_4$  se upravuje tranzistorem  $T_6$ . V emitoru tohoto tranzistoru je dioda  $D_{13}$ , která pracuje jako jakási referenční dioda, neboť je zapojena v propustném směru a je na ní konstantní úbytek napětí asi  $0,7 \text{ V}$ . Tranzistor  $T_7$  je výkonový typ. Odpor  $R_{22}$  a  $R_{23}$  omezují proud do řídicích elektrod tyristorů. Vyžadují-li tyristory větší proud do řídicí elektrody, lze oba odpory zmenšit a tranzistor  $T_7$  zatížit až na povolenou ztrátu.

Na výstupech  $14$  a  $16$  jsou (proti bodu 3) kladné impulsy o napětí  $+10 \text{ V}$ , šířky do  $10 \text{ ms}$  a s posuvitelnou přední hranou v závislosti na výstupním napětí zesilovače. Je-li nutno galvanicky oddělit řídicí elektrody tyristorů, je možno na výstupy  $14$  a  $16$  připojit impulsní transformátor.

Operační zesilovač má dva vstupy, na jeden z nich lze přivést referenční srovnávací napětí a na druhý chybový signál. Kondenzátor  $C_6$  je zapojen ve větvi záporné zpětné vazby integrovaného operačního zesilovače, takže působí jako integrační člen. Stabilizované napětí  $+15 \text{ V}$  (vyvedené na svorku 5) se používá jako referenční napětí ve větvi zpětné vazby.

#### Seznam materiálů

Nabíječ podle obr. 57

##### Transformátor

Tr plechy EI  $40 \times 40$ ; primární vinutí ( $220 \text{ V}$ ) –  $620$  z drátu o  $\varnothing 0,63 \text{ mm}$  CuL, sekundární vinutí ( $2 \times 35 \text{ V}$ ) –  $2 \times 110$  závitů drátu o  $\varnothing 1,25 \text{ mm}$  CuL ( $3 \text{ z/1 V}$ )

##### Tyristory

$Ty_1, Ty_2$  KT702 (KT703 až KT705)

##### Odpory

$R_1$  podle požadovaného rozsahu regulace  
 $R_2$  potenciometr lineární TP 280,  $1 \text{ k}\Omega$   
 $R_3$  TR 152,  $180 \Omega$   
 $R_4, R_5$  TR 636,  $33 \Omega$   
 $R_6$  samonosný, navinut odporovým drátem,  $2 \Omega$   
 $R_7$  TR 151,  $1,5 \text{ k}\Omega$

### Kondenzátory

$C_1$	10 000 $\mu\text{F}/12\text{ V}$
$C_2$	500 $\mu\text{F}/12\text{ V}$
$C_3$	TC 280, 1 $\mu\text{F}$
$C_4, C_5$	TC 180, 0,1 $\mu\text{F}$
$C_6$	100 $\mu\text{F}/12\text{ V}$

Nabíječ podle obr. 58

### Tlumička

$Tl$  EI 40  $\times$  40, mezera mezi plechy E a I nastavena tak, aby proud nabíječe byl maximálně 20 A; tlumička má 50 z drátu o  $\varnothing$  2 mm CuL

### Polovodičové prvky

$D_1, D_2$  diody KY719  
 $Ty_1, Ty_2$  tyristory KT705

### Odpory

$R_1$  drátový samonosný, 3  $\Omega$   
 $R_2$  TR 151, 1,5 k $\Omega$   
 $R_3$  TP 280, 1 k $\Omega$ , lineární potenciometr  
 $R_4, R_5$  TR 636, 33  $\Omega$   
 $R_6$  podle požadovaného rozsahu regulace  
 $R_7$  TR 151, 1 M $\Omega$

### Kondenzátory

$C_1$	10 000 $\mu\text{F}/12\text{ V}$
$C_2$	500 $\mu\text{F}/12\text{ V}$
$C_3, C_4$	1 $\mu\text{F}/450\text{ V}$
$C_5$	100 $\mu\text{F}/12\text{ V}$

### Řídicí regulátor

### Transformátor

$Tr$  plechy EI 25  $\times$  25; primární vinutí  $L_1$  (220 V) – 1 620 z drátu o  $\varnothing$  0,25 mm CuL,  $L_2, L_5$  (2  $\times$  16 V) – 2  $\times$  127 z drátu o  $\varnothing$  0,25 mm CuL,  $L_3, L_4$  (2  $\times$  8 V) – 2  $\times$  63 z drátu o  $\varnothing$  0,4 mm CuL

### Polovodičové prvky

$D_1, D_4$  až  $D_8, D_{10}$  až  $D_{13}, D_{15}, D_{16}$  diody KA502  
 $D_2, D_3, D_{14}$  diody KY702  
 $D_9, D_{17}$  Zenerovy diody 7NZ70  
 $IO$  integrovaný operační zesilovač MAA501  
 $T_1$  a  $T_2, T_5$  a  $T_8$  tranzistor KF506  
 $T_3, T_4, T_7$  tranzistory KF517

### Odpory

$R_1, R_2$  TR 152, 560  $\Omega$   
 $R_3, R_6, R_{13}$  TR 151, 820  $\Omega$   
 $R_4$  TR 151, 3,9 k $\Omega$   
 $R_5, R_{14}, R_{15}, R_{27}, R_{28}$  TR 151, 1 k $\Omega$   
 $R_7$  TR 151, 470  $\Omega$   
 $R_8, R_{19}, R_{16}, R_{17}$  TR 151, 1,8 k $\Omega$   
 $R_9$  TR 151, 180  $\Omega$   
 $R_{11}$  TR 151, 390  $\Omega$   
 $R_{12}$  TR 112, 10  $\Omega$   
 $R_{18}$  TR 151, 680  $\Omega$   
 $R_{19}$  TR 151, 1,2 k $\Omega$   
 $R_{20}$  TR 152, 470  $\Omega$   
 $R_{21}$  TR 151, 2,2 k $\Omega$   
 $R_{22}, R_{23}$  TR 152, 330  $\Omega$   
 $R_{24}$  TR 152, 20  $\Omega$   
 $R_{25}$  TR 151, 6,8 k $\Omega$   
 $R_{26}$  TR 151, 8,2 k $\Omega$   
 $R_{29}$  odporový trimr 10 k $\Omega$

### Kondenzátory

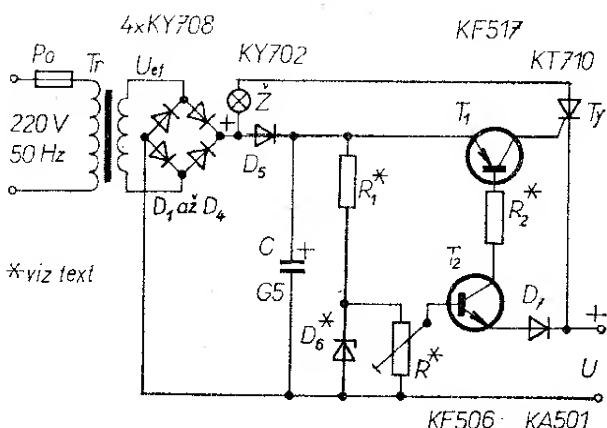
$C_1$	2 $\times$ TE 984, 1000 $\mu\text{F}$ (v PVC)
$C_2, C_3$	TE 986, 500 $\mu\text{F}$ (v PVC)
$C_4$	TK 782, 0,1 $\mu\text{F}$

$C_5, C_6, C_7$	TE 984, 20 $\mu\text{F}$
$C_8, C_9$	TC 281, 470 pF
$C_{10}$	TC 195, 0,1 $\mu\text{F}$

## Tyristorový nabíječ s napěťovým omezením

Na obr. 62 je další typ nabíječe pro akumulátory. Zapojení lze realizovat pro napětí 6, 12 i 24 V. Součástky pro příslušné napětí jsou přehledně uvedeny v tab. 7. Maximální proud, který lze z nabíječe odebrat, je asi 2 A.

Napětí ze síťového transformátoru je usměrněno můstkovým usměrňovačem s diodami  $D_1$  až  $D_4$  a přivedeno přes žárovku  $\tilde{Z}$  na anodu tyristoru. Protéká-li proud z běžce potenciometru směrem k výstupním svorkám, tzn. je-li výstupní napětí spolu s úbytky na diodě  $D_7$  a na přechodu báze-emitor tranzistoru  $T_2$  menší, než je napětí na běžci potenciometru, jsou tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  otevřeny a řídicí elektrodou tyristoru protéká proud. Tyristor je otevřen a do nabíjeného akumulátoru teče proud, jehož velikost je omezena odporem vlákna žárovky asi na 2 A. Při nastavování potenciometru je třeba znát konečné napětí nabíjeného akumulátoru – potenciometr nastavíme tak, aby toto napětí nebylo při nabíjení překročeno. Známe-li napětí na přechodu báze-emitor tranzistoru  $T_2$  a úbytek napětí na diodě  $D_7$ , nastavíme běžec potenciometru tak, aby na něm bylo napětí větší o tyto dvě dílčí napětí. Potenciometr lze nastavit i tak, že připo-



Obr. 62. Tyristorový nabíječ s napěťovým omezením

(v kolektoru  $T_1$  má být odpor  $R_3$ )

Tab. 7. Součástky pro různá napětí akumulátorů, nabíjených nabíječkou podle obr. 62

Akumulator	6 V	12 V	24 V
$U_{ef}$	10 V	17 V	24 V
$R_1 [\Omega]$	100	200	200
$R_2 [\Omega]$	330	560	1000
$R_3 [k\Omega]$	0,56	1	1,5
$R [k\Omega]$	1	1	5
$D_5$	4NZ70	7NZ70	KZ799
$\dot{Z}$	6 V/15 W	12 V/25 W	12 V/25 W

jíme nabíječ k nabitému akumulátoru a potenciometr nastavíme tak, aby do akumulátoru netekl žádný proud.

Po připojení nabíječe k vybitému akumulátoru protéká akumulátorem nabíjecí proud, který je omezen žárovkou a napětí na akumulátoru se zvětšuje. Během každé půlpériody se proud obvodem přeruší, avšak obvody tranzistorů uvedou tyristor opět do vodivého stavu. Blíží-li se napětí akumulátoru napětí, které odpovídá nastavení běžce potenciometru, posouvá se okamžik sepnutí tyristoru směrem ke špičce průběhu střídavého napětí, až konečně proud do akumulátoru přestane téci a nabíjení je ukončeno. Kondenzátor  $C$  musí být dimenzován na špičkové napětí na sekundárním vinutí transformátoru.

#### Literatura

- [1] Khol, J.: Akumulátory motorových vozidel. SNTL: Praha 1974.
- [2] Kabeš, J.: Výpočet normalizovaných transformátorů. ST 2/1956.
- [3] Kubeš, J.: Udržování akumulátorů. Elektrotechnik 1/1962.
- [4] Vašíček, A.: Typizované napájecí transformátory a tlumivky. SNTL: Praha 1963.
- [5] Janda, J.: Stavební návod a popis Certus. Domácí potřeby Praha 1963.



- [6] Bělov, A.: Provoz akumulátorů. SNTL: Praha 1967.
- [7] Bělov, Čupr, List: Elektrotechnika XIV. Články galvanické, akumulční, palivové, fyzikální. SNTL: Praha 1968.
- [8] Marek, M.: Uzavřené niklokadmiové akumulátory. Sborník přednášek Domu techniky 1971.
- [9] Boden a kol.: J. Electrochem. Soc. 115, 4/1968, s. 333 až 335.
- [10] Kang, L.: Electrochem. Acta 13, 2/1968, s. 227 až 284.
- [11] Malík, J.: Olověný akumulátor. Naše vojsko: Praha 1953.
- [12] Firemní literatura n. p. Pražská akumulátorka, Ml. Boleslav.
- [13] Firemní literatura n. p. Bateria Slaný.
- [14] Firemní literatura firmy VARTA.
- [15] Firemní literatura firmy Sonnenschein.
- [16] Firemní literatura n. p. TESLA Rožnov pod R.
- [17] Soubor norem ČSN třídy 36.
- [18] Kubeš, J.: Galvanické články a akumulátory. SNTL: Praha 1958.

## NEZAPOMEŇTE NA KONKURS!

Uzávěrka letošního konkursu AR-  
-TESLA na nejlepší amatérské konstrukce roku se pomalu, avšak nezadržitelně blíží. Nebojte se ověřit jakost svých výrobků v soutěži; rozdělení kategorií, v nichž budou Vaše práce hodnoceny, umožňuje získat některou z cen i za jednoduché konstrukce mladých techniků. Podrobné podmínky konkursu byly uveřejněny v AR 2/1975, uzávěrka konkursu je 15. září 1975.



## ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ MODERNÍCH PRIMÁRNÍCH ČLÁNKŮ

V příručce pro konstruktéry elektro-nických zařízení, vydané firmou Mallo-ry, jsou uvedeny hlavní zásady pro používání alkalických a rtuťových článků.

### Konstrukce kontaktů v přístrojích

Pro možnost vzniku elektrochemické koroze se nedoporučuje používat jako materiál kontaktů kombinace různých kovů (např. niklovaný ocelový plech s měděnou mezivrstvou apod.). Vhodným materiálem na kontakty je koro-zivzdorná ocel, poniklovaná ocel s mi-nimální tloušťkou vrstvy niklu 7,5  $\mu$ m nebo slitina Inconel. Pokud jde o tvar kontaktů, může být stejný pro všechny druhy článků; pro větší odebíraný proud se doporučuje používat více-násobné kontakty. Připouští se i použí-vat kontakty s ostrými hranami.

### Skladování článků

Optimální teplota pro skladování je 15 až 25 °C (bez prudkých výkyvů), relativní vlhkost nemá překročit 65%. Při skladování většího množství článků je vhodné kontrolovat dobu skladování, aby se články nedávaly do provozu již se zmenšenou kapacitou.

### Výměna článků

Přístroje se mají zásadně osazovat články stejného výrobce, stejného stáří

a stejného typu, a mají se vyměňovat vždy všechny články současně.

### Mezní teplota

Teplota článků, vyráběných firmou Mallory, nemá při manipulaci popř. při provozu překročit 60 °C (vytvrzo-vací teplota použitých organických materiálů). Články je možno chladit.

### Dobíjení primárních článků

Zásadně se nedoporučuje dobíjet primární články, které se mohou při vyvíjení plynů při chemických reakcích poškodit.

### Zkoušení článků

Všechny články procházejí ve výro-bním podniku výstupní kontrolou. Stav (stupeň vybití) článků nelze krátko-dobou zkouškou spolehlivě zjistit; ne-doporučuje se měřit zkratový proud. Orientačně lze kontrolovat stav článku měřením napětí naprázdno voltmetrem, jehož vnitřní odpor je nejméně 10 k $\Omega$ /V.

Porovnání rtuťových a alkalických primárních článků s běžnými burelo-vými články je v tab. 1. Alkalické i rtuťové články se vyrábějí v knoflíko-vém nebo válcovém provedení ve více než dvaceti různých velikostech. V tab. 2 jsou uvedeny nejběžnější rozměry vál-cových typů s mezinárodním označe-ním příslušného tvaru a označením, používaným některými jinými výrobci.

Tab. 1.

Článek	Napětí naprázdno [V]	Kapacita vyráběných typů [Ah]	Doba skladování pro 80 % kapacity [měsíců]	Energie na jednotku váhy [Wh/kg]	Energie na jednotku objemu [Wh/cm <sup>3</sup> ]
rtuťový	1,35 1,4	0,035 až 14	30	102	0,37
alkalický	1,5	0,125 až 10	30	77	0,21
burelový	1,5		6 až 12	49	0,12

Tab. 2.

Mezi-národní označení	Mallory	ASA	Japonsko	DIN, I.E.C.	Maximální rozměry [mm]	
					Výška	Průměr
Mono	Mn 1300	D	AM 1	LR 20	60,4	33,15
Baby	Mn 1400	C	AM 2	LR 14	50,0	25,4
Mignon	Mn 1500	AA	AM 2	LR 14	50,0	14,2
Micro	Mn 2400	AAA	AM 4	LR 03	44,5	10,5
Lady	Mn 9100	N	AM 5	LR 1	29,0	12,0

# OBSAH

Vědeckotechnický rozvoj . . . . .	1
<b>Elektrochemické zdroje proudu</b>	
Hlavní pojmy z elektrochemie . . . . .	2
<b>Základní elektrochemické články</b>	
Mezinárodní Westonův normálový článek . . . . .	4
Galvanický burelový (burelosalmiakový) článek . . . . .	5
<b>Sluneční baterie . . . . .</b>	6
<b>Olověný akumulátor . . . . .</b>	8
<b>Alkalické akumulátory . . . . .</b>	11
Srovnání druhů akumulátorů a další vlastnosti alkalických akumulátorů . . . . .	12
<b>Stříbrozinkové akumulátory . . . . .</b>	13
<b>Uzavřené niklokadmiové články . . . . .</b>	15
Vlastnosti uzavřených niklokadmiových článků . . . . .	16
<b>Zkoušení a měření galvanických článků a akumulátorů . . . . .</b>	17
<b>Údržba akumulátorů a jejich drobné opravy</b>	
Údržba olověných akumulátorů . . . . .	22
Alkalické akumulátory . . . . .	25
<b>Nabíjení akumulátorů – všeobecné zásady . . . . .</b>	27
Transformátor . . . . .	29
Usměrňovače . . . . .	31
Druhy nabíječů	
Nabíječ s proudovým omezením . . . . .	34
Nabíječ bez vnějších odporů . . . . .	37
Nabíječ s omezením nabíjecího proudu žárovkou . . . . .	38
Nabíječ s kondenzátorem . . . . .	41
Nabíječ s kondenzátorem pro síť 120/220 V . . . . .	45
Zjednodušený nabíječ s kondenzátorem . . . . .	45
Nabíječ s rozptylovým transformátorem . . . . .	47
Nabíječe pro uzavřené články NiCd . . . . .	49
Tranzistorový nabíječ s charakteristikou I . . . . .	52
Tyristorové nabíječe s charakteristikou I . . . . .	56
Tyristorový nabíječ s napěťovým omezením . . . . .	60

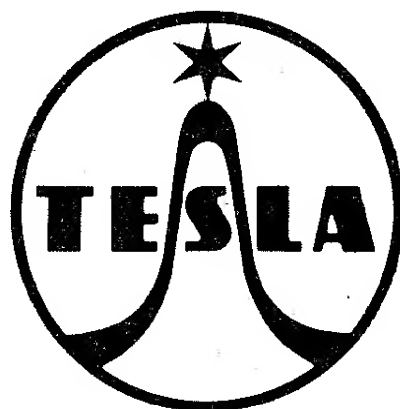
**RADIOVÝ KONSTRUKTÉR** – vydává vydavatelství Magnet, Praha 1, Vladislavova 26, PSČ 113 66, telefon 26 06 51—7 ● Šéfredaktor ing. František Smolík ● Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, telefon 26 06 51—7, linka 354 (šéfredaktor), popř. 353 (redaktor) ● Redakční rada: K. Bartoš, V. Brzák, K. Donát, A. Glanc, I. Harminc, L. Hlinský, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, ing. J. Jaroš, ing. F. Králík, ing. J. Navrátil, K. Novák, ing. O. Petráček, L. Tichý, ing. J. Vackář, CSc., laureát st. ceny KG, ing. J. Zima, J. Ženíšek, laureát st. ceny KG ● Ročně vyjde 6 čísel ● Cena výtisku 4,50 Kčs, pololetní předplatné 13,50 Kčs, roční předplatné 27,— Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil Magnet - administrace, Vladislavova 26, 113 66 Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohledací pošta 07 ● Tiskne Polygrafia, závod 1, Svobodova 1, 128 17 Praha - Vyšehrad ● Za původnost a správnost příspěvku ručí autor ● Toto číslo vyšlo 23. 5. 1975.

© Vydavatelství Magnet Praha

---

**POŠLEME VÁM  
NA DOBÍRKU JEDNOÚČELOVÉ**

# **NÁHRADNÍ DÍLY**



**K radiopřijímačům:**

Poezie, Jubilant, Teslaton, Carioca, Capriccio, Kankán, Bolero, Stereo Dirigent, Carmen, Adagio, 635A, Bel Canto, Orfeus, T 61, Jalta, Perla, Akcent, Monika, Mambo, Iris, Twist, Big-Beat, Dolly, Menuet, Mini, Perla – rum., IN 70, Carina, Bonny, Rena, Toccata, Madison, Capri, Song.

**Ke gramofonům:**

H 20, H 21, HC 643, HC 646, GBZ 641, HC 11, NC 410, HC 09, HC 10, HC 12.

**K magnetofonům:**

Sonet Duo, B 3, Uran, Pluto, D 8, Echolana, A 3, ZK 120, ZK 140, DS 1, Fonica, B 60, B 200, řada B 4, řada B 5.

**K televizorům:**

Standart, Luneta, Palas, Marina, Anabela, Mimosa, Orchidea, Oliver, Miriam, Marcela, Blankyt, Dajána, Karolína, Orava 128, 126, 129, 222, Camping 25 a 28, Jasmín, Lilie, Lilie UKV, Irena, Orava – 132, 229, 232, 134, 135, 226, 230, 131, 235, 239, 237 a Orava 241, Aramis.

**K zesilovačům:**

VKP 050, AZK 201, 401, Music 15, Mono 50, AUA – ústředny.

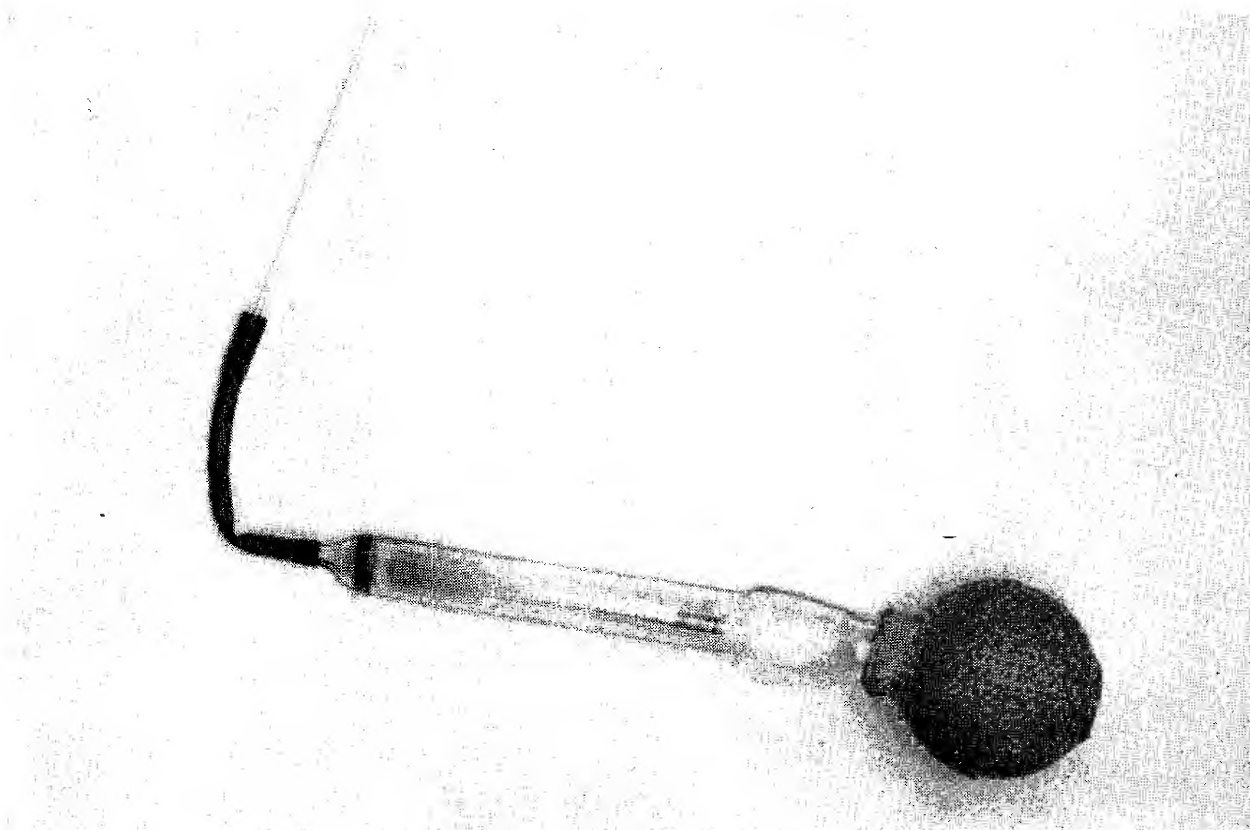
\*

Vzhledem k velkému zájmu jsou některé druhy dílů rychle doprodávány. Proto stojí zato pospíšet si a objednávku poslat včas (stačí korespondenční lístek) na adresu:

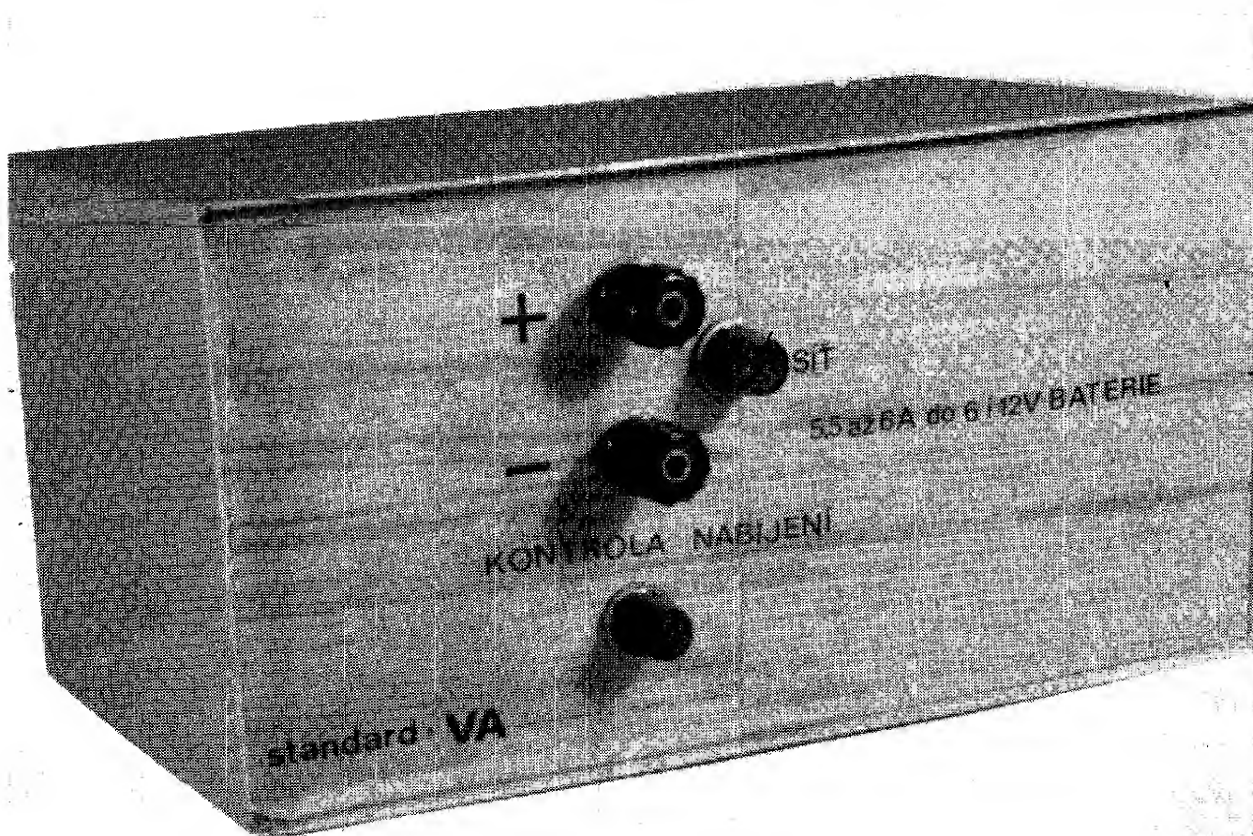
**ZÁSILKOVÁ SLUŽBA TESLA**

**Moravská 92**

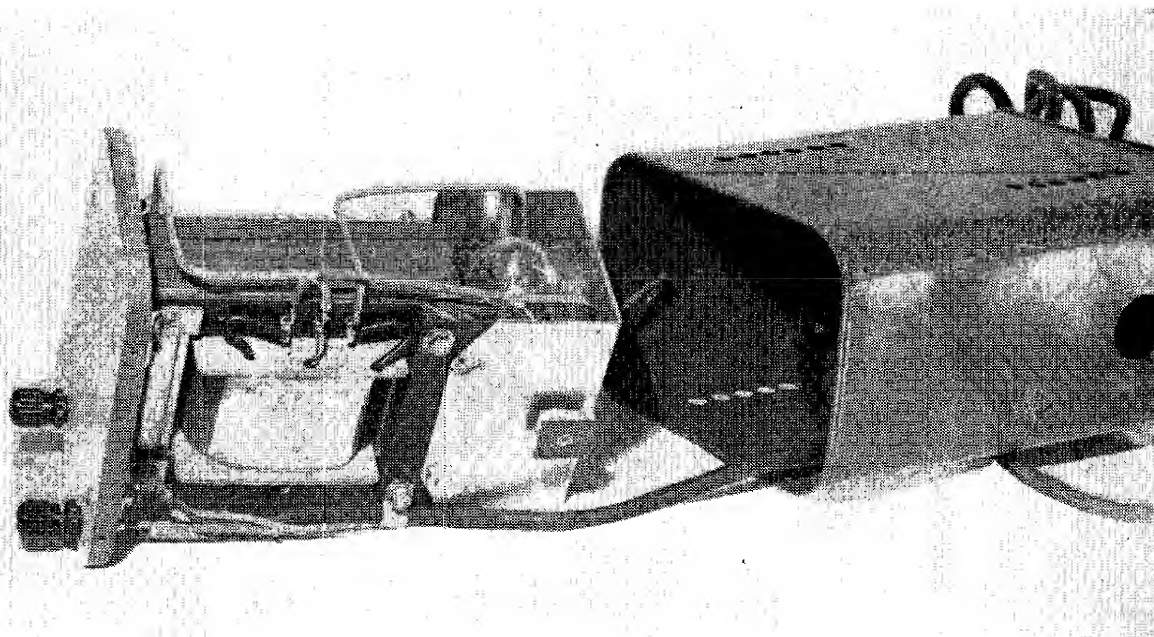
**688 19 UHERSKÝ BROD**



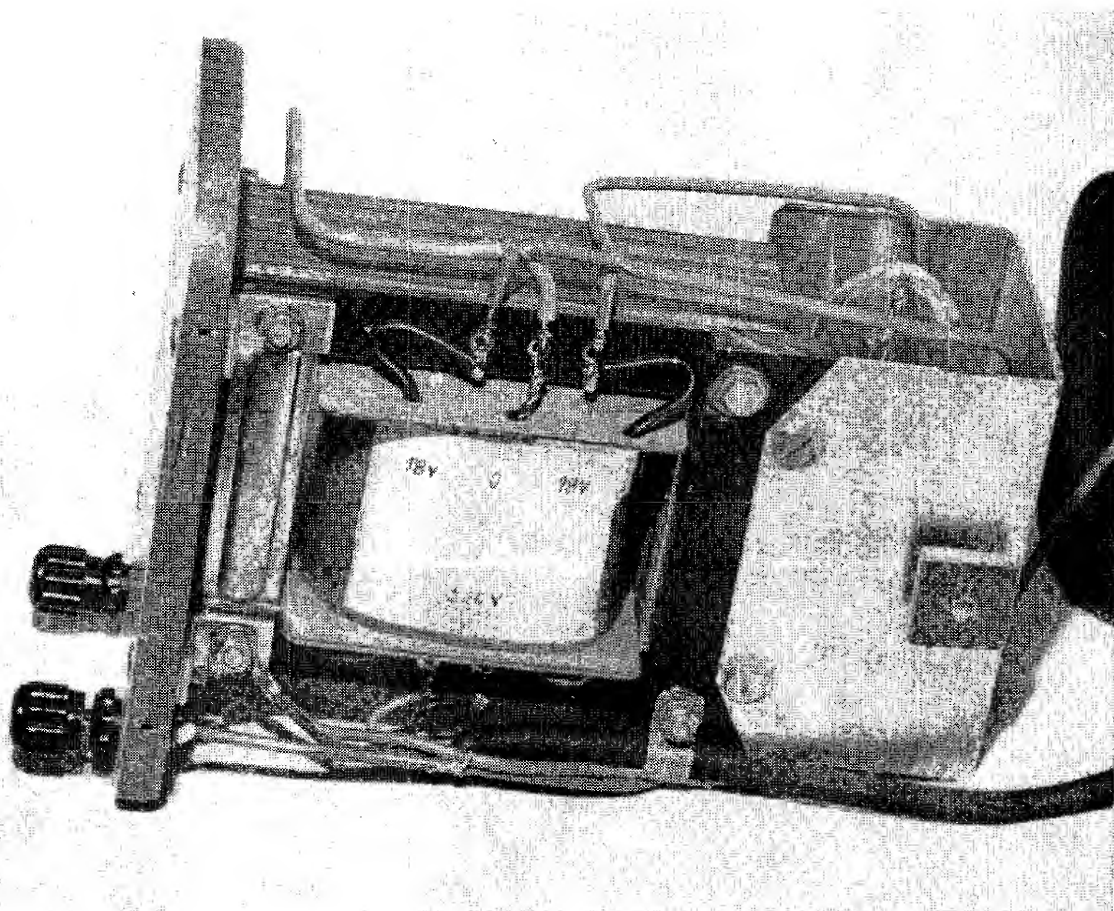
Obr. 15. Násavkový hustoměr



Obr. 43. Zjednodušený nabíječ s kondenzátory

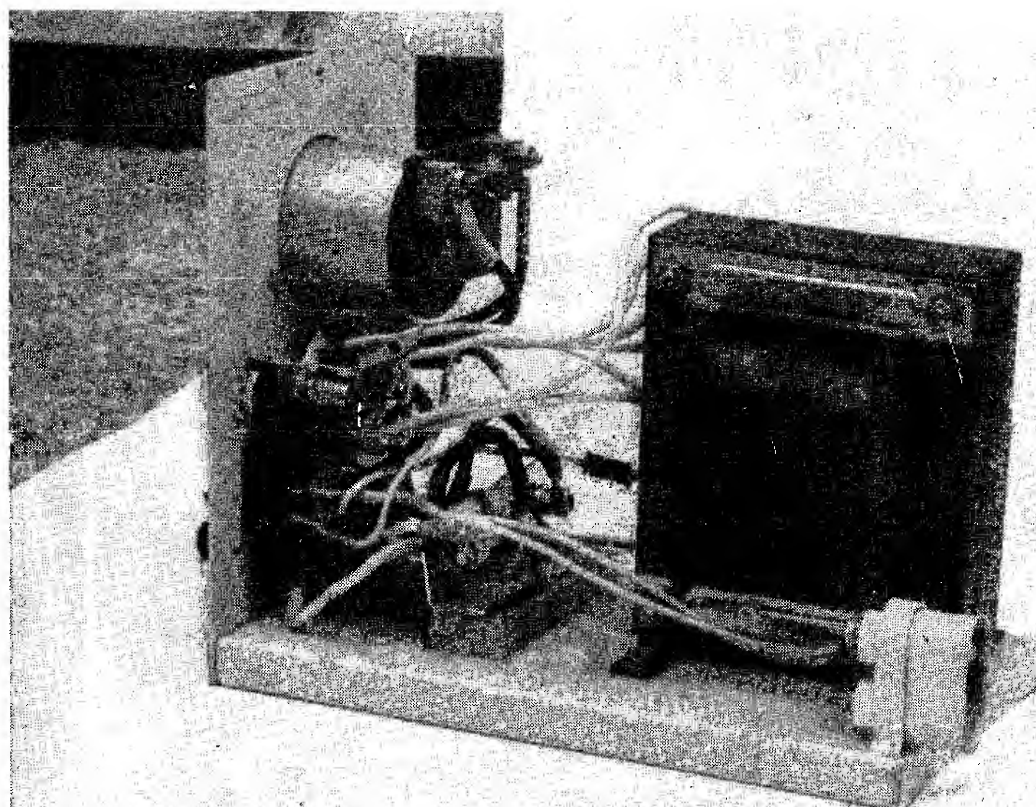
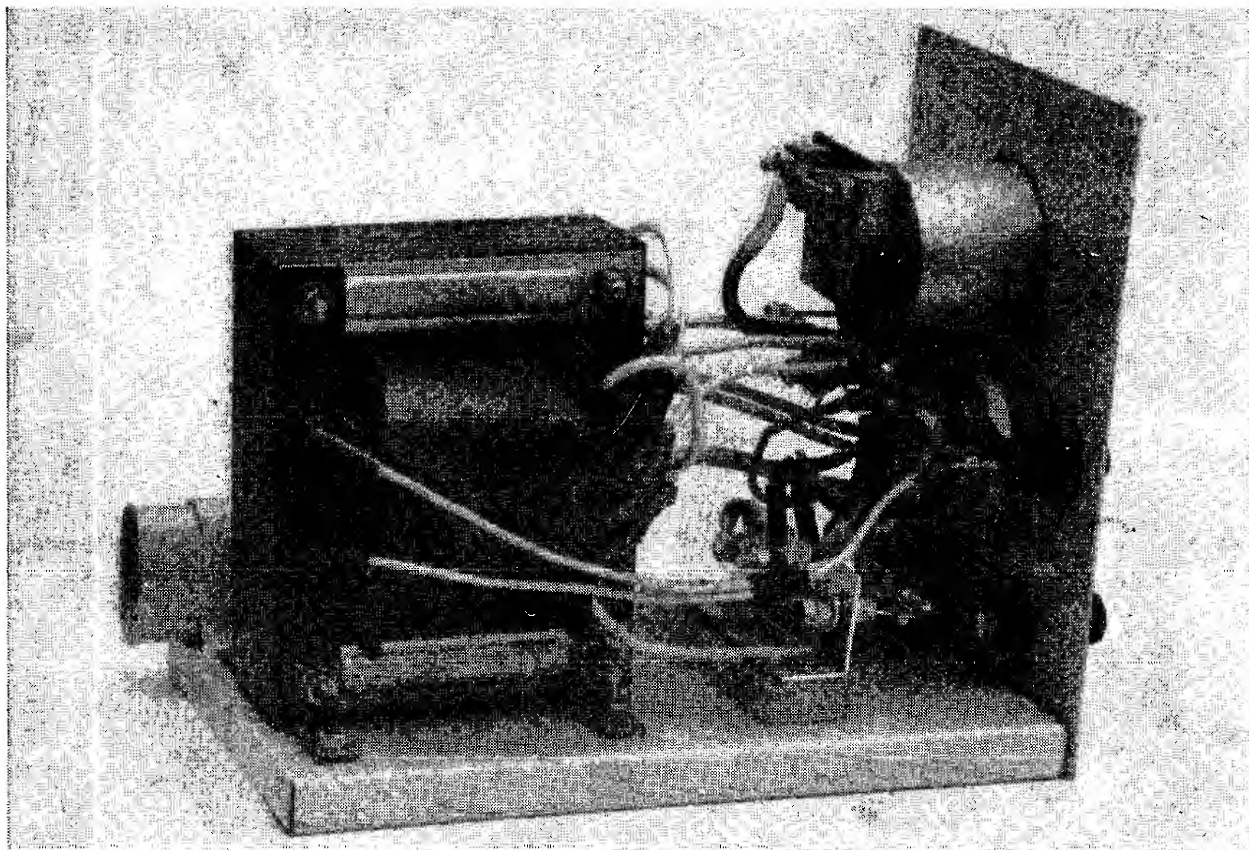


*Vnitřní uspořádání nabíječe se žárovkou z obr. 28*



*Detail vnitřního uspořádání nabíječe z obr. 28 (str. 38)*





*Obr. 30. Vnitřní uspořádání nabíječe z obr. 24 (str. 37)*